



**Luís Diogo Nunes da Silva**

Licenciado em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

**Ensaio exploratório de um modelo TLS  
num Sistema Produtivo *Lean*:  
Caso Equipar**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia  
e Gestão Industrial

Orientador: Prof<sup>a</sup> Doutora Alexandra Maria Baptista  
Ramos Tenera, Prof<sup>a</sup> Auxiliar, Faculdade de Ciências e  
Tecnologia Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Isabel Maria do Nascimento Lopes Nunes  
Arguente: Prof. Doutora Ana Isabel Cerqueira de Sousa Gouveia Carvalho  
Vogal: Prof. Doutora Alexandra Maria Baptista dos Ramos Tenera  
Vogal: Engenheiro Rui Manuel Ferreira Dias



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro, 2015**



*LUÍS DIOGO NUNES DA SILVA*

*Licenciado em Ciências de Engenharias e Gestão Industrial*

**Ensaio exploratório de um modelo TLS  
num Sistema Produtivo *Lean*:  
Caso Equipar**

Dissertação apresentada para a  
obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Industrial, da Faculdade  
de Ciências e Tecnologia (FCT) na  
Universidade Nova de Lisboa (UNL).

*ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup> DOUTORA ALEXANDRA TENERA*

PRESIDENTE: PROF. DOUTORA ISABEL MARIA DO NASCIMENTO LOPES NUNES

ARGUENTE: PROF. DOUTORA ISABEL CERQUEIRA DE SOUSA GOUVEIA CARVALHO

ORIENTADORA / VOGAL: PROF. DOUTORA ALEXANDRA MARIA BAPTISTA DOS RAMOS

TENERA

VOGAL: ENGENHEIRO RUI MANUEL FERREIRA DIAS

Lisboa

Setembro, 2015

## **Ensaio exploratório de um modelo TLS num Sistema Produtivo *Lean*: Caso Equipar**

*Copyright* © Luís Diogo Nunes da Silva, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*Ao meu avô,  
espero que recuperes a saúde para voltares a ser quem eras.  
Aos meus pais e à minha namorada e melhor amiga,  
Tarsila Takebayashi, obrigado por tudo...*



# Agradecimentos

---

A realização desta dissertação não teria sido possível sem o contributo das mais variadas pessoas e entidades. Assim, não poderia deixar de exprimir o meu profundo agradecimento pelo empenho e dedicação dos mesmos a mim proporcionados.

Em primeiro lugar à minha orientadora, professora Doutora Alexandra Tenera, por me ter guiado nos momentos em que a dissertação parecia não tomar o rumo certo, originado pelos encraves temáticos e psicológicos, ocorridos na fase inicial. Agradeço o interesse demonstrado no tema, os conhecimentos e conselhos a mim transmitidos. Acima de tudo por me facilitar o contacto com a empresa à qual fui acolhido.

Ao Engenheiro Rui Dias agradeço por ter-me introduzido no mundo industrial Português e pelo apoio e disponibilidade demonstrada ao longo da minha primeira experiência laboral. O desafio profissional por ele proporcionado permitiu a mim, sem qualquer dúvida, crescer como profissional e como pessoa.

A toda equipa da secção *Twin Top*, em especial atenção à responsável da produção Isilda Gagueija, à Lucília Teles e Idália Neves da equipa da Escolha Eletrónica, pois foi muito importante todo o apoio, interesse e paciência que demonstraram nos projetos necessários de implementar no âmbito da dissertação. A simpatia e colaboração prestada pelos colaboradores da Unidade Industrial Equipar foi essencial e agradeço pela lição a mim dada sobre a importância da humildade e do trabalho de equipa em prol de um objetivo comum.

Por fim agradeço à instituição Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL, pela formação e recursos que me permitiu ter habilitações e ser competitivo no momento de entrar no mercado de trabalho e ao grupo Amorim por apostar no potencial dos jovens formados nas universidades portuguesas através de programas de estágios.



O setor da cortiça representa no panorama industrial português um lugar de grande destaque devido à imagem de excelência e de rigor que os fabricantes nacionais transmitem ao mundo. As rolhas, produto originado por esta matéria-prima, encontram-se sujeitas a novas pressões do mercado pelo aparecimento de produtos alternativos que fornecem a mesma utilidade. O caso de Estudo é aplicado na Corticeira Amorim, atual líder mundial do setor, que utiliza a inovação e a melhoria dos seus processos e produtos como forma de manter o monopólio que atualmente possui.

Faz parte da estratégia da Unidade Industrial Equipar, procurar as melhores práticas exploradas pelas empresas internacionais de topo. Atualmente a metodologia que apresenta melhor desempenho em termos de ganhos são os modelos que combinam a Teoria das Restrições com *Lean* e 6-Sigma, denominados pela sigla TLS. Foi desejado que se criasse um modelo com base nas filosofias anteriores e que fosse possível adaptar ao sistema produtivo de rolhas técnicas encontrado na secção *Twin Top*.

Após uma revisão bibliográfica, construiu-se um modelo TLS com 5 fases com objetivo de atingir a melhoria contínua de um sistema produtivo. As fases do modelo proposto passam pela análise e identificação da restrição, exploração da mesma com as possíveis oportunidades de melhorias LSS, pela subordinação do sistema à restrição e por fim é feita uma reavaliação do desempenho da restrição, onde se a mesma estiver resolvida o ciclo fecha retornando ao primeiro passo novamente ou, caso contrário, é elevado o desempenho do processo com recurso a investimento monetário.

Foram aplicados dois ciclos de melhoria contínua. Os resultados obtidos na resolução da primeira restrição foram extremamente satisfatórios onde o processo restritivo tornou-se o mais eficiente após as melhorias. Foi iniciada a exploração da restrição no segundo ciclo. Os objetivos definidos inicialmente na presente tese de mestrado foram alcançados.

Palavras-chave: Cortiça; Rolhas; Melhoria Contínua; TLS; TOC; *Lean*; 6-Sigma



The cork industry represents in the Portuguese industrial panorama a large prominent place due to the image of excellence and rigor that the national manufactures convey to the world. The stoppers, product derived from that material, are subject to new market pressures from the emerging of alternative products that provide the same utility. The case of study is applied in *Corticeira Amorim*, current worldwide leader in the sector, which resources to the innovation and improvement of processes and products as a way of maintaining the monopoly that currently has.

Part of the Industrial Unity *Equipar* strategy is to seek the best practices exploited by international top companies. Currently the methodology that presents better performances in terms of earnings are the models that combine Theory of Constraints with Lean and 6-Sigma, known by the initials TLS. It was desired to create a model based on the previous philosophies and that could be adapted to the productive system of technical stoppers found in Twin Top section.

After a literature review, it was built a TLS model with 5 phases in order to achieve continuous improvement of a production system. The phases of the model pass by constraint identification and analysis, exploit the restriction with the possible LSS opportunities to improve, subordination of system's constraint and finally it is made a reassessment of the constraint's performance, where if the same is resolved the cycle closes returning to the first step again or otherwise the process performance is improved by using monetary investment.

Two continuous improvement cycles were applied. The results obtained in the first constraint resolution were extremely satisfactory where the restrictive process became the most efficient one after improvements. The exploit of the second cycle's constraint was initiated. The objectives initially set out in this master's thesis have been achieved.

Keywords: Cork; Stoppers; Continuous Improvement; TLS; TOC; Lean; 6-Sigma





# Índice de Matérias

---

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1. Contextualização do problema .....	1
1.2. Enquadramento e Motivação.....	2
1.3. Objetivos da dissertação .....	2
1.4. Metodologia do Estudo.....	3
1.5. Organização da dissertação .....	4
<b>2. Sistemas de Melhoria Contínua.....</b>	<b>5</b>
2.1. Fundamentos da TOC e ferramentas.....	7
2.2. Fundamentos de <i>Lean</i> e ferramentas.....	14
2.3. Fundamentos de 6-Sigma e ferramentas.....	17
2.4. Sistemas TLS (TOC, <i>Lean</i> e 6-Sigma) .....	21
2.4.1. Comparação das três metodologias.....	21
2.4.2. Integração TLS e potenciais benefícios.....	23
2.4.3. Exploração de modelos TLS existentes.....	25
<b>3. Proposta de Aplicação Metodológica.....</b>	<b>29</b>
3.1. Analisar Sistema e identificar Restrição.....	31
3.2. Explorar Restrição.....	32
3.3. Submeter Sistema à Restrição.....	33
3.4. Reavaliar Restrição.....	34
3.5. Elevar desempenho da Restrição.....	34
<b>4. Caso de Estudo.....</b>	<b>35</b>
4.1. Caraterização do grupo.....	35
4.2. Caraterização da Unidade Industrial Equipar.....	38
4.3. Caraterização do sistema em estudo.....	41
4.3.1. Diagrama de Processo do Sistema.....	41
4.3.2. Processos que compõem o Sistema.....	43
4.3.3. Características e funcionamento do sistema.....	51
<b>5. Implementação do modelo TLS proposto no sistema em estudo.....</b>	<b>55</b>
5.1. Caracterizar sistema e identificar restrição .....	56
5.1.1. Métricas de produção e análise global das métricas do sistema.....	56
5.1.2. Criação de VSM e análise do <i>Current State</i> .....	69
5.1.3. Simulação real no Sistema e identificação da restrição.....	71
5.1.4. Análise e mobilização na restrição.....	73
5.2. Explorar Restrição.....	75

5.2.1. Caracterizar e identificar fontes de desperdício.....	75
5.2.2. Caracterizar e identificar Variabilidade.....	78
5.2.3. Atuar com <i>Lean</i> sobre os desperdícios.....	83
5.2.4. Atuar com 6-Sigma sobre a variabilidade.....	91
5.3. Submeter/Subordinar o Sistema á Restrição .....	99
5.4. Reavaliar restrição .....	99
5.4.1. Elevar desempenho da restrição se o processo não cumprir <i>Takt Time</i> .....	99
5.4.2. Identificação da nova restrição se o processo cumprir <i>Takt Time</i> .....	100
5.4.3. Explorar restrição no 2º ciclo de melhoria contínua.....	103
5.5. Síntese final dos resultados, principais destaques e sugestões de trabalho futuro .....	104
<b>6. Conclusões.....</b>	<b>107</b>
<b>Referências.....</b>	<b>109</b>
 <b>Anexo A - Organigramas e <i>Layout</i> da Unidade Industrial Equipar.....</b>	 <b>115</b>
Anexo A.I – Organograma do negócio de Rolhas Amorim .....	115
Anexo A.II – Organograma do negócio de Rolhas Amorim .....	115
Anexo A.III – <i>Layout</i> das secções TT, ROSA, Trituração, EQD e Armazém .....	116
Anexo A.IV – <i>Layout</i> das secções AGLO e laboratório.....	116
<b>Anexo B - VSM.....</b>	<b>117</b>
Anexo B.I – <i>Current State</i> do Sistema (Setembro e Outubro de 2014) .....	117
Anexo B.II – <i>Future State</i> do Sistema .....	118
Anexo B.III – VSM após melhoria (Abril de 2015).....	119
<b>Anexo C – Simulação Real no Sistema.....</b>	<b>121</b>
Anexo C.I – <i>Template</i> do Registo do Controlo de <i>Stock WIP</i> .....	121
Anexo C.II – Resultados do Inventário WIP antes de cada posto (em cestos).....	123
<b>Anexo D - Atuar com <i>Lean</i>.....</b>	<b>127</b>
Anexo D.I – <i>Template</i> do indicador do Registo de Paragens .....	127
Anexo D.II – <i>Template</i> do indicador dos Defeitos e Repassagens.....	127
Anexo D.III – <i>Template</i> do indicador do OEE.....	128
Anexo D.IV – <i>Template</i> Indicador da Classe Visual (com registo obtido em Fevereiro).....	128
Anexo D.V – Ocupação dos operadores logísticos.....	129
Anexo D.VI – Resultados da amostragem da Classe Fraca.....	130
Anexo D.VII – Norma SW Comboio Logístico.....	131
Anexo D.VIII – Norma SW Classificação da Classe Abaixo.....	131
Anexo D.IX – Fichas de melhoria criadas para área da Restrição.....	132
<b>Anexo E - Cartas de Controlo.....</b>	<b>133</b>
Anexo E.I – Resultados da amostragem (n=50 rolhas) de produto não-conforme .....	133
Anexo E.II – <i>Template</i> das Cartas de Controlo EE.....	134

# Índice de Figuras

---

Figura 1.1 – Metodologia da abordagem utilizada na realização da dissertação.....	3
Figura 2.1 – Desenvolvimento histórico das metodologias de produção até 2011.....	5
Figura 2.2 – Modelo do ciclo PDCA de liderança de Dahlgaard.....	6
Figura 2.3 – Funcionamento de projeto de melhoria contínua com recurso ao ciclo PDCA.....	7
Figura 2.4 – Evolução cronológica da TOC até 2015.....	8
Figura 2.5 – Tipos de restrições existentes.....	8
Figura 2.6 – Modelo TOC dos cinco passos de foco de Goldratt.....	9
Figura 2.7 – Exemplo de DBR.....	11
Figura 2.8 – Resultados de um estudo de aplicação da TOC.....	13
Figura 2.9 – Expansão Japonesa no mundo da produção automóvel.....	14
Figura 2.10 – Metodologia de criação de um VSM.....	17
Figura 2.11 – Evolução da metodologia 6-Sigma.....	18
Figura 2.12 – Ciclo DMAIC.....	18
Figura 2.13 – Exemplo de uma Carta de Controlo.....	19
Figura 2.14 – Zonas das Cartas de Controlo.....	20
Figura 2.15 – Capacidade balanceada versus Capacidade desbalanceada.....	23
Figura 2.16 – Contribuição para a redução de custos de cada metodologia.....	25
Figura 2.17 – 7 passos do modelo iTLS.....	26
Figura 2.18 – Modelo <i>Ultimate Improvement Cycle</i> .....	27
Figura 3.1 – Modelo TLS proposto.....	29
Figura 3.2 – Etapas da 1ª Fase do modelo.....	31
Figura 3.3 – Etapas da 2ª Fase do modelo.....	32
Figura 3.4 – Etapas da 3ª Fase do modelo.....	33
Figura 3.5 – Etapas da 4ª Fase do modelo.....	34
Figura 3.6 – Etapas da 5ª Fase do modelo.....	34
Figura 4.1 – Mapa representativo da presença do Grupo Amorim na Europa e em África.....	35
Figura 4.2 – Vendas consolidadas por área geográfica.....	36
Figura 4.3 – Vendas consolidadas por Unidade de Negócio.....	36
Figura 4.4 – Volume de vendas e EBITDA do negócio de rolhas em 2012, 2013 e 2014.....	37
Figura 4.5 – Gama de produtos do negócio de rolhas.....	38
Figura 4.6 – Fotografia Aérea da Unidade Industrial Equipar.....	39
Figura 4.7 – Vendas consolidadas por Área Geográfica da UI Equipar.....	39
Figura 4.8 – Vendas por Área Geográfica consolidadas da Secção TT.....	40
Figura 4.9 – Rolha <i>TWIN TOP®</i> .....	41

Figura 4.10 – Rolha "0+1" .....	41
Figura 4.11 – Diagrama de Processo da produção de rolhas a secção TT .....	42
Figura 4.12 – Linha de Extrusão.....	44
Figura 4.13 – Máquina moldadora.....	44
Figura 4.14 – Máquina misturadora.....	44
Figura 4.15 – Máquina de colar "1k" .....	45
Figura 4.16 – Máquina de colar "2k" .....	45
Figura 4.17 – Linhas de Colagem.....	45
Figura 4.18 – Máquina que realiza o processo de Topejamento da Retificação.....	46
Figura 4.19 – Linha de Retificação.....	46
Figura 4.20 – Máquinas de Lavação.....	47
Figura 4.21 – Padrão com os três tipos de lavações existentes.....	47
Figura 4.22 – Máquinas de Escolha S530.....	48
Figura 4.23 – Tapete de Escolha Manual.....	48
Figura 4.24 – Operadora comparando rolhas da amostra com o padrão da classe escolhida.....	48
Figura 4.25 – Saídas das máquinas de Escolha Eletrónica.....	49
Figura 4.26 – Operador a descarregar alcofa de defeitos em cesto de material não-conforme.....	49
Figura 4.27 – <i>Layout</i> pormenorizado com fluxos na secção da Escolha.....	50
Figura 4.28 – Quadro <i>Kanban</i> de produção no processo da Lavação.....	51
Figura 4.29 – Exemplo de um Cesto de Produto.....	52
Figura 4.30 – Exemplo de um Silo de Produto.....	52
Figura 4.31 – Exemplo de um Paloxe.....	52
Figura 4.32 – Exemplo de uma Alcofa.....	52
Figura 4.33 – Quadro <i>Kaizen</i> da secção “Escolha”.....	53
Figura 5.1 – Quantidade processada (em milhares de rolhas) no sistema em Setembro e Outubro.....	65
Figura 5.2 – Variação do inventário WIP, em cestos, antes de cada processo do sistema.....	72
Figura 5.3 – Variação percentual de Defeitos em 2014.....	74
Figura 5.4 – Diagrama Esparguete do transporte de paletes entre a secção TT e o Arm. P.A.....	75
Figura 5.5 – Cestos de produtos com fraca gestão visual.....	76
Figura 5.6 – Folha de identificação.....	76
Figura 5.7 – Cesto de produto na EE.....	76
Figura 5.8 – Paloxe de produto na Lavação.....	76
Figura 5.9 – Identificação Atual das máquinas.....	77
Figura 5.10 – Excerto do <i>Future State</i> onde foram aplicadas as melhorias.....	77
Figura 5.11 – Padrão atual de defeitos.....	78
Figura 5.12 – Diagrama de Pareto dos defeitos antes da EE.....	79
Figura 5.13 – Diagrama de Ishikawa para as Trincas/Lenticelas.....	80

Figura 5.14 – Diagrama de Pareto dos defeitos encontrados após a EE (saída defeitos).....	81
Figura 5.15 – Quadro “Kaizen” após introdução de novos indicadores.....	84
Figura 5.16 – Cesto com velcro colocado.....	84
Figura 5.17 – Folha com velcro colocado.....	84
Figura 5.18 – Paloxe de produto identificada.....	85
Figura 5.19 – Cesto de produto identificado.....	85
Figura 5.20 – Nova identificação de máquina EE.....	85
Figura 5.21 – Local para arrumação de identificações.....	85
Figura 5.22 – Semáforo Andon instalado.....	86
Figura 5.23 – Carruagem abastecida com 3 paletes.....	86
Figura 5.24 – Padrão de Classe visual criado para a Classe abaixo de B cl2000.....	88
Figura 5.25 – Melhoria realizada nas máquinas em estrela.....	90
Figura 5.26 – Equipamento de transporte sugerido para transporte de PNC na EE.....	90
Figura 5.27 – Horas paradas na EE da semana 44 até 51 em 2014.....	91
Figura 5.28 – Diagrama de Pareto com as causas das avarias na Restrição.....	92
Figura 5.29 – Substituição de orientadores de discos.....	93
Figura 5.30 – Exemplificação da componente prática da formação.....	95
Figura 5.31 – Ficha da melhoria criada na Lavação.....	103
Figura 5.32 – Novo <i>layout</i> sugerido.....	105



## Índice de Tabelas

---

Tabela 2.1 – 9 Regras de Goldratt de otimização.....	9
Tabela 2.2 – <i>Roadmap</i> de aplicação do <i>Thinking process</i> .....	12
Tabela 2.3 – Resumo das componentes TOC.....	12
Tabela 2.4 – Identificação e descrição dos 7 <i>Muda</i> .....	15
Tabela 2.5 – Identificação e definição dos 5S.....	16
Tabela 2.6 – Descrição das fases e ferramentas utilizadas no ciclo DMAIC.....	19
Tabela 2.7 – Tipos de cartas de controlo mais utilizados.....	21
Tabela 2.8 – Comparação das características das 3 metodologias.....	21
Tabela 2.9 – Complementaridade das 3 metodologias.....	22
Tabela 2.10 – Principais sinergias encontradas nas interações de TOC, <i>Lean</i> e 6-Sigma.....	24
Tabela 2.11 – Ferramentas recomendadas em cada passo do modelo iTLS.....	27
Tabela 2.12 – Passos e ferramentas do modelo UCI.....	28
Tabela 4.1 – Principais tipos de rolhas produzidos na UI Equipar.....	40
Tabela 4.2 – Especificações das rolhas TT e “0+1”.....	41
Tabela 5.1 – Ferramentas, lógicas e impacto esperado em cada fase do modelo proposto.....	55
Tabela 5.2 – Distribuição t- <i>Student</i> bi-caudal.....	56
Tabela 5.3 – Crescimento médio do bastão em cada linha de Extrusão.....	57
Tabela 5.4 – Capacidade nominal teórica da Extrusão.....	58
Tabela 5.5 – Resultado da cronometragem no Topejamento.....	58
Tabela 5.6 – Resultado da cronometragem na Colagem.....	59
Tabela 5.7 – Resultado da cronometragem na atividade de Ponçamento da Retificação.....	60
Tabela 5.8 – Resultado da cronometragem na atividade de Topejamento da Retificação.....	60
Tabela 5.9 – Comparação das capacidades dos processos da Retificação.....	61
Tabela 5.10 – Capacidade horária média para cada Lavação.....	62
Tabela 5.11 – Resultado da cronometragem na Escolha Eletrónica.....	62
Tabela 5.12 – Resumo das capacidades nominais obtidas em cada processo do sistema.....	63
Tabela 5.13 – Horas Efetivas para trabalho produtivo em Setembro e Outubro de 2014.....	64
Tabela 5.14 – Tempos de ciclo atuais em cada processo do sistema.....	66
Tabela 5.15 – Tempos de ciclo teóricos em cada processo do sistema.....	66
Tabela 5.16 – Eficiências no sistema.....	67
Tabela 5.17 – Distinção do produto processado na Escolha Eletrónica.....	68
Tabela 5.18 – <i>Lead Time</i> entre processos do sistema.....	70
Tabela 5.19 – Equações de tendência linear e derivada da variação do WIP antes de cada processo.....	73
Tabela 5.20 – Defeitos encontrados antes da EE.....	79

Tabela 5.21 – Origem dos defeitos encontrados antes da EE.....	79
Tabela 5.22 – Estudo de Trincas/Lenticelas existentes em vários pontos do sistema.....	80
Tabela 5.23 – Origem dos defeitos e falsas rejeições encontradas na saída dos defeitos.....	82
Tabela 5.24 – Percentagens encontradas nas saídas de Classe fraca das máquinas EE.....	87
Tabela 5.25 – Norma ISO de amostragem de atributos para inspeção normal.....	87
Tabela 5.26 – Verificação da quantidade amostrada segundo a norma ISO 2859-1.....	88
Tabela 5.27 – Procura existente para cada classe em 2014.....	88
Tabela 5.28 – Resultados obtidos para a classe B cl2000 no período de Março a Maio.....	89
Tabela 5.29 – Tempo de Paragem existente em cada avaria.....	91
Tabela 5.30 – <i>Performance</i> de cada máquina em termos de Disponibilidade e Produção.....	92
Tabela 5.31 – Comparação da Produtividade com ou sem orientadores Vimétrica.....	93
Tabela 5.32 – Comparação da Qualidade com ou sem orientadores Vimétrica.....	94
Tabela 5.33 – Impacto da formação na EE.....	95
Tabela 5.34 – Linha central, limites de controlo e capacidade de cada carta do processo.....	97
Tabela 5. 35 – DPMO, % Defeitos, Taxa de Rendimento e Custo da Qualidade para cada Nível de Sigma.....	98
Tabela 5.36 – Percentagem de defeitos encontrados em cada classe de produto.....	98
Tabela 5.37 – Indicadores de desempenho em Abril de 2015.....	101
Tabela 5.38 – <i>Lead Time</i> entre atividades do sistema em Abril.....	101
Tabela 5.39 – Tempo de Ciclo de cada atividade em Maio.....	102



# Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

---

AGLO – Secção Aglomerado

CC – Cartas de controlo

CCR - *Capacity-Constrained Resource*

$C_p$  – Índice de Capacidade Potencial

$C_{pk}$  – Índice de Capacidade

D - Diâmetro

DBR - *Drum-Buffer-Rope*

DMAIC – *Define-Measure-Analyze-Improve-Control*

Definir-Medir-Analisar-Melhorar-Controlar

DOE – Design Of Experiments

Desenho de Experiências

DPMO – Defeitos por Milhão de Oportunidades

EBITDA - *Earnings before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*

Lucros antes de Juros, Impostos, Depreciação e Amortização

EE – Escolha Eletrónica

EM – Escolha Manual

EQD – Equipar Distribuição

FIFO – *First In First Out*

FTT – *First Time Through*

H – Humidade

JIT – *Just In Time*

L - Comprimento

LC – Linha Central

LIC – Limite Inferior de Controlo

LIE – Limite Inferior da Especificação

LSC – Limite Superior de Controlo

LSE – Limite Superior da Especificação

LSS – *Lean-Six-Sigma*

MP – Matéria-Prima

MV – Massa Volúmica

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

PA – Produto acabado

PDCA – *Plan-Do-Check-Act*

Planear-Executar-Verificar-Atuar

PNC – Produto não-conforme

RA – Granulado Fino de Cortiça

RCT – Granulado Grosso de Cortiça

ROSA - *Rate Optimal Steam Application*

Secção TT - Secção *Twin Top*

SMED - *Single Minute Exchange of Die*

SPC – *Statistical Process Control*

Controlo Estatístico do Processo

TCA – 2,4,6 Trichloroanisol

TLS – TOC, *Lean* e 6-Sigma

TOC – *Theory of Constraints*

Teoria das Restrições

TT – rolhas *TWIN TOP*®

UI – Unidade Industrial

UIC - *Ultimate Improvement Cycle*

VSM – *Value Stream Mapping*

WIP - *Work In Progress*

# 1

## Introdução

A cortiça é utilizada desde há séculos em diversos produtos, mas teve destaque quando começou a ser aplicada em rolhas para garrafas de vinhos, podendo ser datada pela primeira vez no século I a.C., onde se encontrou em *Éfeso* (uma cidade greco-romana da Antiguidade, atualmente localizada na Turquia) uma garrafa que não só estava vedada com uma rolha de cortiça como ainda continha vinho (Acpor, 2015). Ainda hoje a cortiça mantém liderança nessa aplicação.

Devido a sua importância, tem-se procurado investir nos ramos de conhecimento da cortiça, de forma que as suas propriedades que a tornam um material de grande valor e qualidade possam ser aproveitadas ao máximo em processos eficientes que satisfaçam os interesses tanto dos produtores, assim como dos transformadores e dos consumidores.

De facto, a velocidade de modernização deste ramo é elevadíssima e com o aparecimento de novas empresas e/ou a reestruturação das existentes e sendo a cortiça um produto já tradicional no mercado nacional, a adaptação e inovação têm sido requeridas a fim de assegurar o monopólio, assim como conquistar novos segmentos de um mercado em potencial crescimento.

Nesse contexto, esta dissertação avalia a possibilidade de implantar um modelo de melhoria contínua num sistema produtivo *Lean*, com base nas metodologias da teoria de restrições, *Lean* e 6-Sigma, a fim de sanar possíveis deficiências na produção de rolhas técnicas de uma grande empresa produtora.

### 1.1. Contextualização do problema

A cortiça possui elevada fama como um produto proveniente de Portugal, já que o nosso país tem estado, desde sempre, ligado a esta atividade e tem sido nas últimas décadas o maior produtor e exportador mundial de cortiça. A produção mundial de cortiça é de 340 mil toneladas por ano, das quais 55% são oriundas de Portugal e em todo o mundo são produzidas cerca de 12 mil milhões de rolhas anualmente, sendo que cada tonelada de cortiça poderá, em média, dar origem a 66.700 rolhas (Amorim, 2015a). Portugal possuía uma área de 712.813 hectares (dados do inventário de 1995), onde quase 90% encontram-se distribuídos no distrito de Santarém e a Sul do Tejo nos distritos de Faro, Beja, Setúbal, Évora e Portalegre (Pestana & Tinoco, 2009). Desta forma, é possível perceber a importância e a movimentação do mercado de rolhas e a exigência para que haja grande quantidade em produção.

A Corticeira Amorim é a maior empresa mundial de produtos derivados de cortiça, mais propriamente em rolhas, liderando todo o sector e contribuindo para a economia e para a inovação na fileira da cortiça (Amorim, 2015b).

A dissertação em si é focada na Unidade Industrial (UI) Equipar, localizada na zona industrial de Monte da Barca em Coruche, empresa pertencente à unidade de rolhas da Corticeira Amorim,

tendo em foco a secção *Twin top* (secção TT) que se dedica à produção de rolhas técnicas, sendo esta a maior secção da UI.

Assim, realizou-se uma proposta pelo Diretor Industrial ao departamento de Engenharia Industrial da FCT-UNL para que houvesse uma investigação sobre o processo que no momento limita a produção das rolhas *TWIN TOP®* (TT) e “0+1” e que ocasiona um impedimento para que a fábrica consiga ter um maior volume de produção dos produtos derivados da secção TT. No momento existem encomendas que não podem ser realizadas devido à incapacidade de produção de fabrico para as mesmas, especialmente em períodos de elevada procura - como a época anterior às vindimas, por exemplo -, logo torna-se essencial estudar o problema, analisar o sistema e propor soluções que aumentem o nível de serviço da UI. A degradação do nível de serviço refletirá na perda oportunidades de vendas e de clientes para empresas concorrentes pela deficiência de suprir a produção e o *stock* necessário para cumprir as encomendas.

## 1.2. Enquadramento e Motivação

Existem várias formas para tornar uma organização mais competitiva. No contexto económico atual, as administrações procuram cada vez mais encontrar soluções que permitam minimizar os custos sem que cause problemas na produtividade.

A proposta inicial do Diretor Industrial da UI Equipar foi utilizar uma metodologia de melhoria contínua em que se pudesse aperfeiçoar o processo produtivo, mas em que o foco principal não fosse apenas reduzir os custos atuais, mas sim maximizar os lucros da empresa mesmo que provoque custos operacionais mais elevados, ou seja, tornar o sistema mais rentável. A dissertação insere-se no âmbito da implementação no sistema produtivo das rolhas técnicas da secção TT de um modelo de melhoria contínua híbrido que abranja as metodologias da teoria das restrições (TOC), *Lean* e 6-Sigma em complemento com a aplicação das lógicas e ferramentas mais apropriadas ao sistema.

A utilização destas metodologias é responsável pela obtenção de excelentes resultados ao serem implementados em empresas de diversos setores, o que motiva a seleção do tema. O seu sucesso faz com que haja um crescente número de publicações sobre a temática em estudo.

## 1.3. Objetivos da dissertação

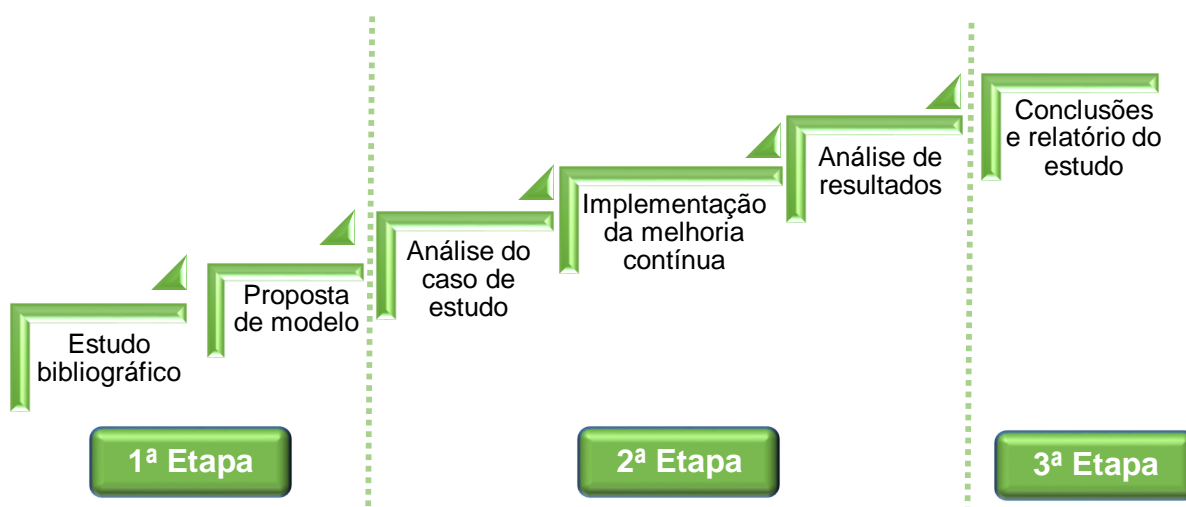
O principal objetivo pretendido de alcançar com a realização da dissertação é: Criar um modelo baseado na investigação realizada no estado da arte referente aos sistemas de melhoria contínua e testar esse modelo num sistema real.

Dentro do estudo teórico um objetivo existente é: Verificar qual dos sistemas de melhoria contínua poderá trazer melhores resultados para ser aplicado num sistema produtivo. Os objetivos que se procuram explorar dentro da aplicação prática do estudo são: Melhorar o processo de produção das rolhas técnicas TT e das rolhas “0+1” na secção TT da UI Equipar; Aumentar a produtividade sem que seja afetada a qualidade; Analisar aprofundadamente a situação encontrada

no sistema; Identificar e atuar sobre os processos que afetam o fluxo de produção dentro do sistema produtivo e que provocam desperdícios; Implementar melhorias a curto prazo e propor outras a médio/longo prazo onde a administração ponderará quais poderão ser aplicadas; Estudar o impacto através de dados concretos das melhorias imediatas, embora algumas mudanças podem não provocar efeitos imediatos no sistema e apenas tornarem-se benefícios no futuro próximo; Controlar as melhorias através da inspeção sobre a forma de auditorias e manter o espírito crítico para criar uma atitude de melhoria contínua.

#### 1.4. Metodologia do Estudo

A presente dissertação segue uma abordagem metodológica em três etapas como representado na *Figura 1.1*:



**Figura 1.1 - Metodologia da abordagem utilizada na realização da dissertação**

Os procedimentos de investigação podem ser descritos em cada etapa, mais detalhadamente, como:

**1ª Etapa** - Estudo bibliográfico:

- a) Pesquisa sobre o estado da arte dos sistemas de melhoria contínua, com foco na teoria das restrições.
- b) Proposta de um modelo de melhoria contínua construído através das sinergias possíveis de conciliar entre as melhores práticas dos modelos existentes.

**2ª Etapa** - Preparação e desenvolvimento de um estudo de caso:

- a) Identificação da empresa, definição de um sistema e das fronteiras do caso de estudo;
- b) Diagnóstico do sistema;
- c) Propostas de melhoria e plano de implementação;
- d) Implementação e controlo das propostas de melhoria;
- e) Análises de resultados.

**3ª Etapa** – Conclusões do estudo e redação de relatório no formato de dissertação.

## 1.5. Organização da dissertação

A estrutura apresentada ao longo da dissertação é composta como descrita nos seguintes capítulos:

**Capítulo 1** – Apresenta-se o contexto atual e a relevância da realização do estudo, quais os objetivos propostos e a delimitação da metodologia do estudo utilizada. Por fim expõe-se a estrutura da dissertação e síntese dos temas abordados na presente dissertação;

**Capítulo 2** – Aborda-se a revisão bibliográfica relacionada aos sistemas clássicos de melhoria contínua TOC, *Lean* e 6-Sigma, bem como a integração das 3 metodologias com enfoque na exploração de modelos híbridos TLS (TOC, *Lean* e 6-Sigma).

**Capítulo 3** – Apresenta-se o modelo TLS proposto para implementar num sistema produtivo, bem como as respectivas lógicas e ferramentas a utilizar na sua implementação.

**Capítulo 4** – Descreve-se o caso de estudo onde o modelo será testado. Caracteriza-se o sistema em estudo, sintetiza-se o funcionamento dos seus processos e procede-se ao seu diagnóstico.

**Capítulo 5** – Expõe-se o ensaio do modelo proposto no capítulo 3 procedendo-se à análise e discussão dos resultados alcançados. Propõem-se ainda trabalhos futuros no mesmo sistema.

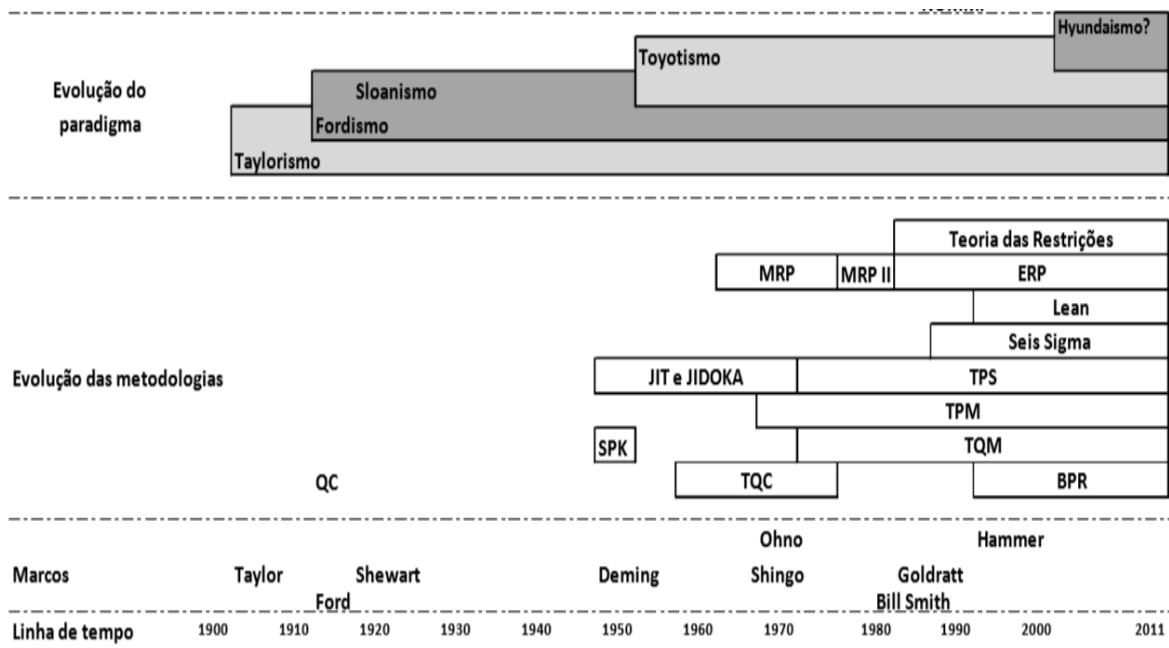
**Capítulo 6** – Neste último capítulo sintetizam-se as principais conclusões do estudo realizado, desenvolvimentos e o impacto do sistema de melhoria contínua aplicado no caso de estudo.

# 2

## Sistemas de Melhoria Contínua

O grande objetivo de um sistema de melhoria contínua é concretizar todos os objetivos definidos por uma organização de forma sistemática, consistente e gradual (Pereira & Requeijo, 2012). O século XX foi de extrema importância para o mundo industrial pois, neste período, surgiram três grandes paradigmas de produção que até hoje são decisivos na forma como os gestores devem orientar cada indústria (Jacobs *et al.*, 2009). As pequenas oficinas que funcionavam com pessoas altamente especializadas foram transferidas para grandes áreas de trabalho com equipamento especializado e de elevado custo. O desempenho passou a ser avaliado na maneira como eram utilizados os recursos e processos e os *layouts* orientaram-se aos novos princípios da produção em massa (Pinto, 2008).

No início do século passado, mais concretamente em 1911, surgiu através de Frederick Taylor o primeiro paradigma, denominado por *Taylorismo*. Mais tarde, em 1926 Henry Ford introduziu o *Fordismo* na indústria automóvel e, a partir desse momento, foi nessa indústria extremamente competitiva que surgiram as evoluções mais significativas. Com a crise de produtividade surgiu no Japão o *Toyotismo*, paradigma introduzido pela *Toyota* e que permitiu aumentar fortemente as receitas com aposta na qualidade final do produto (Stamm *et al.*, 2009). Já Pacheco (2012) sugere o aparecimento, na primeira década do século XXI, de um novo paradigma que denomina por *Hyundaismo*. Na *Figura 2.1* encontra-se cronologicamente representada a evolução, desde o início do século passado até ao ano 2011, dos paradigmas de produção e as metodologias que os compõem:

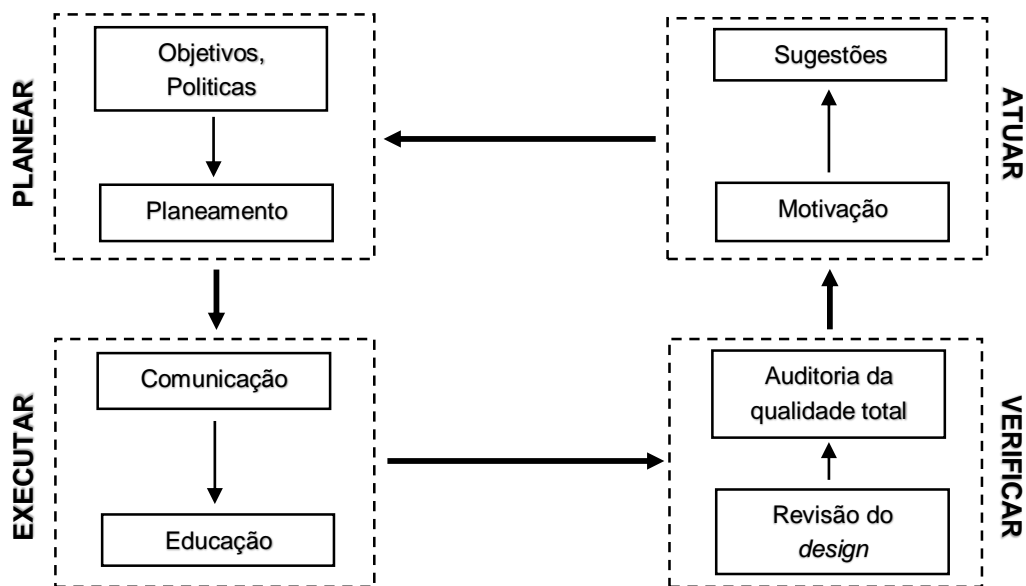


**Figura 2.1 - Desenvolvimento histórico das metodologias de produção até 2011**  
[Fonte: Pacheco (2012); Adaptado: Stamm *et al.* (2009)]

- **Ciclo PDCA (*Plan-Do-Act-Check*)**

O ciclo PDCA é uma ferramenta utilizada para a melhoria de um trabalho que permite o aperfeiçoamento de processos e cria de forma continuada aprendizagem, criatividade e gestão da qualidade em todo o sistema em foco. Proposto inicialmente por Shewhart, mas é mais comum ser utilizado no modelo de resolução de problemas de Edwards Deming com base na gestão da qualidade (Matsuo & Nakahara, 2013).

Segundo Dahlgaard *et al.* (1995), a melhoria contínua da qualidade de um processo começa primeiro por um bom planeamento e apenas após está fase as atividades necessárias para alcançar o que foi planeado serão implementadas. Para melhor entender as causas dos resultados obtidos pelas ações que foram tomadas é necessário verificar e controlar os resultados para que se possa atuar no processo e melhorar de forma continuada todo o sistema. Na *Figura 2.2* encontra-se representado o modelo de um ciclo de melhoria contínua PDCA proposto por Dahlgaard *et al.* (1995):



**Figura 2.2 - Modelo do ciclo PDCA de liderança de Dahlgaard**  
[Adaptado: Dahlgaard *et al.* (1995)]

Já Pereira & Requeijo (2012) e Simões (2010) descrevem as quatro etapas do ciclo como:

- **PLAN (planear)** – Nesta fase faz-se uma análise do processo e estabelecem-se os objetivos e metas que deverão ser atingidos num determinado horizonte temporal que solucionarão o problema definido. É criado um plano de ação com os métodos que se devem utilizar que permitam resolver as causas fundamentais dos problemas dentro do prazo previsto.

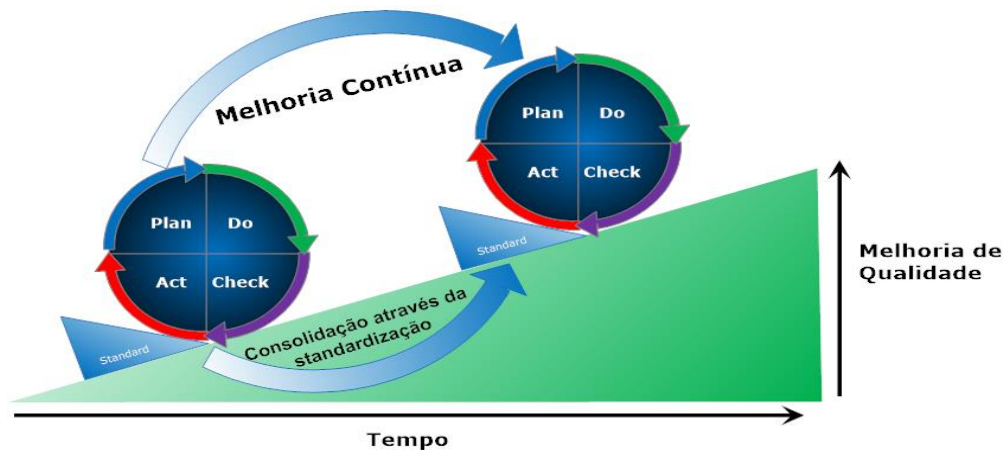
- **DO (executar)** – Todas as ações necessárias serão executadas de acordo com o plano anteriormente definido. Em algumas tarefas é necessário proceder à formação da equipa, isto é educar e treinar as pessoas para que se realize a nova atividade nas melhores condições.

- **CHECK (Verificar)** - Este é um passo importante dentro do ciclo, pois aqui é feita a monitorização, medição e avaliação dos resultados obtidos nas novas aplicações que foram implementadas no processo. De seguida deve-se assegurar se os objetivos planeados na primeira fase foram cumpridos e reportar os resultados obtidos confrontando com os objetivos.



- **ACT (atuar)** – Com base na avaliação feita são desenvolvidas novas rotinas. Aqui se deve empreender as ações corretivas para garantir que os resultados obtidos se tornaram efetivos e que concretizaram com os objetivos inicialmente definidos. É importante que se mantenha viva a atitude de querer melhorar continuamente o desempenho da organização e em caso de necessidade elaborar novos planos de ação e repetir o ciclo PDCA para o mesmo processo.

O ciclo PDCA num projeto de melhoria contínua tem como objetivo melhorar a qualidade de forma consolidada ao longo do tempo como é possível observar na *Figura 2.3*:



**Figura 2.3 – Funcionamento de projeto de melhoria contínua com recurso ao ciclo PDCA**  
[Adaptado: *Software SmartDraw*]

O foco neste capítulo será na exploração dos sistemas clássicos de melhoria contínua em sistemas produtivos, mais concretamente na TOC, *Lean* e 6-Sigma e a abordagem a um sistema híbrido de integração das três metodologias.

## 2.1. Fundamentos da TOC e ferramentas

A TOC é uma metodologia desenvolvida em 1979 por Eliyahu Goldratt e foi inicialmente introduzida como uma tecnologia de planeamento otimizado da produção (Davies & Mabin, 2009). Mais tarde, em 1984, Goldratt conceptualizou o modelo no livro *bestseller* “*The Goal*”.

A teoria foi evoluindo desde a tecnologia de planeamento da produção até um sistema de ferramentas de gestão que integram as áreas de logística, produção, gestão de projetos, finanças, contabilidade, medição do desempenho, distribuição e cadeias de abastecimento, marketing, vendas e resolução de problemas (Cox & Schleier, 2010).

Ao contrário de grande parte das teorias de produção, a TOC não se originou no ramo da indústria automóvel. Devido à sua versatilidade é facilmente aplicada a uma indústria de qualquer natureza. A base da filosofia da teoria das restrições defende que o crescimento de uma organização não é controlado pela totalidade de recursos que a própria tem à disposição, mas sim pelo seu recurso mais escasso, denominado por gargalo (Watson *et al.*, 2006), ou seja, que a capacidade de qualquer sistema produtivo é limitado pela capacidade do(s) recurso(s) restritivo(s) (Levinson, 2007).

De acordo com Watson *et al* (2006), existiam cinco Eras que marcaram a evolução da TOC, até à data de publicação do artigo, como cronologicamente esquematizado na *Figura 2.4*:

1. A Era da tecnologia de otimização da produção – criação das 9 regras de otimização;
2. A Era do “*The Goal*” – articulação do planeamento DBR (*Drum-Buffer-Rope*);
3. A Era do Síndrome de *Haystack* – definição de medidas de desempenho para a TOC;
4. A Era do “*It’s Not Luck*” – aplicação do *Thinking Process* em vários setores;
5. A Era do “*Critical Chain*” – Aplicação do TOC a gestão de projetos.

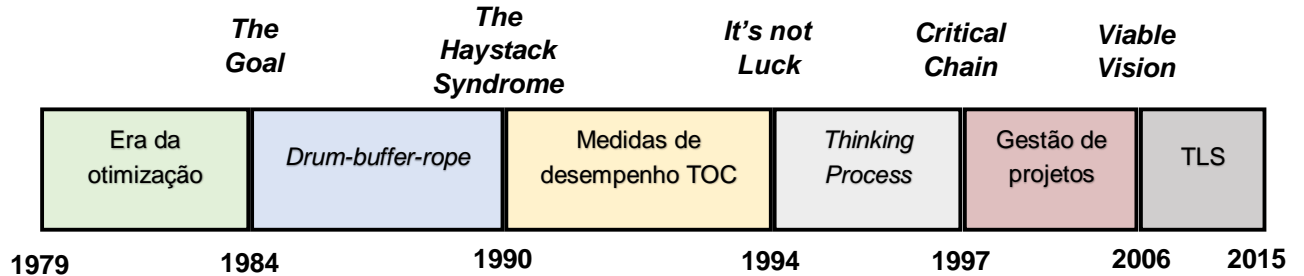


Figura 2.4 – Evolução cronológica da TOC até 2015  
[Adaptado: Watson *et al.* (2006)]

Mais recentemente, com a evolução da investigação, poder-se-á dizer que existe uma nova Era na metodologia TOC, a Era do TLS - integração da Teoria das Restrições com as metodologias *Lean* e 6-Sigma, a qual não foi referida pelo autor pois apenas foi iniciada a sua exploração posteriormente a 2006, logo existiu necessidade de acrescentar à cronologia da figura anterior.

Na Figura 2.5 encontram-se descritos os tipos de restrições possíveis de existir num sistema:

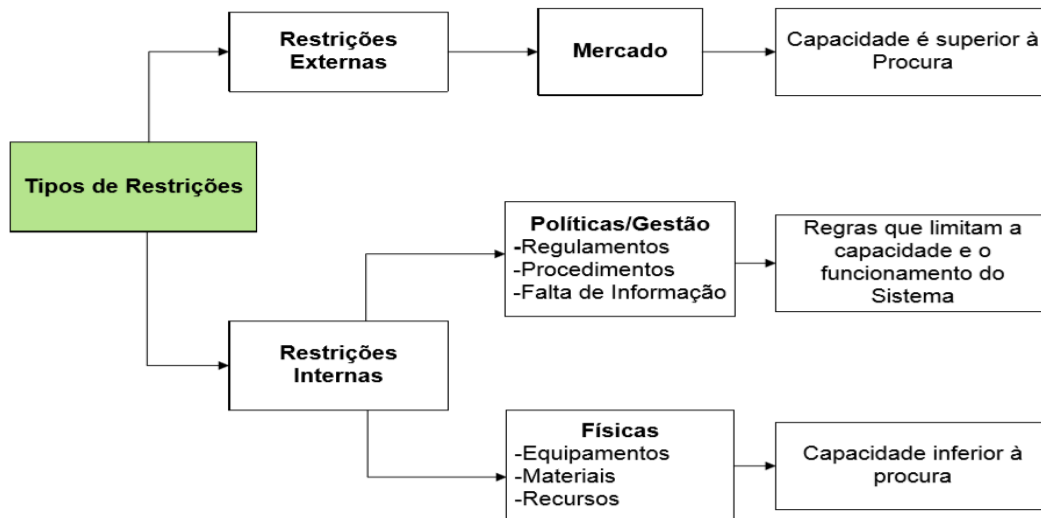


Figura 2.5 – Tipos de restrições existentes  
[Fonte: Lucas (2014)]

As restrições internas são as que se encontram dentro da organização e, neste grupo, as restrições físicas são aquelas que afetam a capacidade do sistema e consequentemente mais fáceis de localizar e ultrapassar (Roldão & Ribeiro, 2007).

#### • 9 Regras de otimização

No final da década de 70, a otimização da produção foi rapidamente adotada por várias organizações (Ronen & Starr, 1990) e onde se obteve resultados de sucesso em duas fábricas da *General Electrics* (Bylinski, 1983). As 9 regras de otimização encontram-se expostas na Tabela 2.1:

**Tabela 2.1 – 9 Regras de Goldratt de otimização**  
**[Adaptado: Goldratt & Fox (1986), Watson et al. (2006), Jacobs et al. (2009)]**

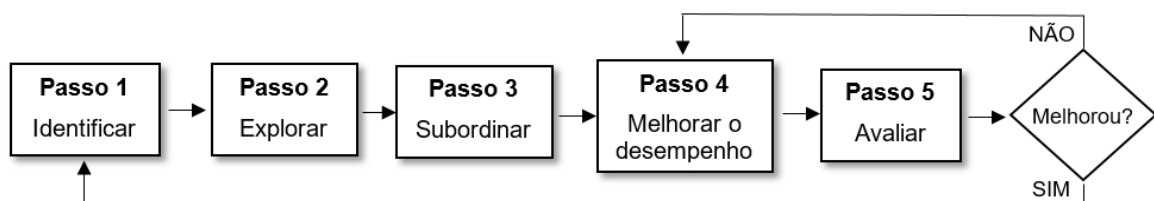
**9 Regras de Otimização**

1	Balancear o fluxo e não a capacidade.
2	O nível de utilização de um recurso não-gargalo não é determinado pelo seu próprio potencial, mas sim por alguma restrição dentro do sistema.
3	Utilização e ativação de recursos não são sinónimos.
4	Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida em todo o sistema.
5	Uma hora ganha num processo não-gargalo é apenas uma miragem.
6	Os gargalos controlam tantos os ganhos do sistema como a existência de inventários de produto em curso.
7	Um lote de transferência não precisa, e muitas vezes não pode, ser igual ao lote do processo.
8	O lote do processo deve ser variável e não fixo.
9	Deve ser estabelecido o planeamento da produção através da análise de todas as restrições em simultâneo. Os <i>Lead Time</i> são resultantes do planeamento e não podem ser predeterminados.

• **Modelo dos 5 passos TOC**

No livro *The Goal*, segundo Goldratt & Cox (2004), todas as organizações devem definir internamente uma meta. O que impede que possa ser cumprido o objetivo é a existência de pelo menos uma restrição, limitando a eficiência global dos processos dentro de um sistema da organização. O que pode determinar o sucesso de uma organização é a forma como os processos dentro de um sistema interagem entre si, caso contrário leva todo o conjunto ao fracasso. Como analogia pode-se considerar um sistema como a uma rede de cadeias em serie entre si, o que ocorre por exemplo numa corrente metálica. A resistência da cadeia, ou seja o desempenho do sistema, é limitado pelo desempenho da corrente mais fraca que poderá quebrar. Num processo industrial esse elo mais fraco corresponde ao gargalo (Watson et al., 2006).

Goldratt propôs um modelo, no seu livro *The Goal*, composto por cinco passos de foco de modo a melhorar a eficiência global de sistemas como esquematizado na *Figura 2.6*:



**Figura 2.6 – Modelo TOC dos cinco passos de foco de Goldratt**  
**[Adaptado: Goldratt & Cox (2004)]**

O modelo dos cinco passos de foco deve servir como *roadmap* teórico das ferramentas a utilizar para identificar continuamente as restrições onde os cinco passos devem ser vistos como um processo de melhoria contínua (McMullen, 1998).

Os cinco passos do modelo encontrado no livro de Goldratt & Cox (2004) podem ser descritos como (Tenera, 2006; Santos, 2012; Pretorius, 2014):

- 1) **Identificar a restrição do sistema** – no primeiro passo é verificado o processo que limita todo o sistema. Nenhuma melhoria é possível sem que seja descoberta a restrição

ou o elo mais fraco. Os processos podem ser identificados em 3 tipos: gargalo (*bottleneck*) caso a capacidade seja inferior à procura, não-gargalo se possuir capacidade superior ou CCR (*Capacity-Constrained Resource*) que corresponde a um não-gargalo que se pode tornar em um gargalo caso o planeamento não for feito com cuidado. Outro motivo de se originar um CCR por falta de abastecimento ou com atraso no WIP (*Work In Progress*) (Jacobs *et al.*, 2009).

- 2) **Explorar a restrição do sistema** – neste segundo passo é respondida a questão: “Como retirar o máximo proveito da restrição?”, ou seja, de como tornar a restrição o mais eficiente possível. O aumento de capacidade gerado não pode recorrer a potenciais investimentos monetários. Explorar a restrição significa que se deve “espremer” ao máximo possível o potencial da atual restrição encontrada no sistema.
- 3) **Subordinar o sistema à decisão anterior** – este passo serve para garantir que todos os processos saibam o que fazer. A restrição para que funcione na sua capacidade ótima tem de receber suporte dos outros processos mesmo que signifique a perda de eficiência dos mesmos. Nos processos não-gargalo uma ferramenta possível de aplicar neste passo é o DBR. Podem existir casos em que haja resistência por parte dos operadores dos processos não-gargalo ao serem obrigados a dar suporte à restrição.
- 4) **Elevar a restrição do sistema** – o quarto passo consiste em potenciar e aumentar o desempenho da restrição. Poderá ser recorrido a investimentos monetários como acrescentar recursos, ou seja, contratar operadores ou adquirir novas máquinas. A alocação de máquinas ou recorrer a horas extras é em alguns casos a política que se deve seguir. A restrição é eliminada quando for capaz de responder à procura do mercado.
- 5) **Avaliar e retomar ao primeiro passo** – No quinto passo do modelo é verificado se a restrição se mantém ou se existe uma nova limitação no sistema. O ciclo de melhoria contínua é fechado neste passo e, tal como Goldratt refere no livro *The Goal*, não se pode deixar que a inércia seja a restrição existente no sistema no novo ciclo. O sistema de melhoria contínua deve funcionar seguindo os mesmos 5 passos iterativamente.

- **DBR**

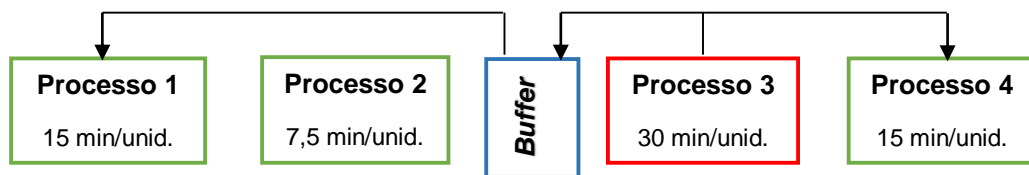
Nos processos que não são o gargalo deve-se subordinar a restrição de modo a evitar o aumento dos *stocks* intermédios e a produção excessiva. Para que exista essa sincronização utiliza-se a técnica DBR (Watson *et al.*, 2006).

A restrição serve de tambor (*drum*) para o resto do sistema, e é neste processo que se inicia a corda (*rope*) que corresponde ao fluxo de informação da cadência para o resto do sistema. É colocado um *buffer* com inventário WIP antes da restrição para proteger esta das paragens ou da variabilidade no seu abastecimento. Quanto maior for a variação, maior deve ser o tamanho do *buffer*, que embora pareça um desperdício é um mal necessário no sistema (Levinson, 2007).

Bhardwaj *et al.* (2010), sugeriram um mecanismo de planeamento e controlo da produção consistente nos seguintes passos:

- Identificar a restrição;
- Preparar um planeamento para a restrição (*drum*);
- Determinar o tamanho do *buffer* da restrição para que consiga responder ao planeamento em termos de disponibilidade de horas de trabalho e o tempo em que o material é libertado no sistema;
- Assegurar se a restrição trabalha de acordo com o planeamento, tendo em conta a variabilidade inerente, e segundo o sequenciamento FIFO (*First In First Out*);
- Preparar um plano de utilização para os materiais que são componentes de vários produtos. O planeamento desse tipo de componente é essencial pois o seu atraso pode provocar desvios e não chegar ao destino para o qual foram originalmente concebidos.

Na Figura 2.7, encontra-se um exemplo de um sistema com o DBR implementado:



**Figura 2.7 – Exemplo de DBR**  
[Fonte: Sirikrai & Yenradee (2006)]

No exemplo anterior o processo 3 corresponde ao gargalo e funciona como tambor, pois vai definir o ritmo de produção. O *buffer*, encontra-se antes da restrição, é o inventário de segurança, que protege o gargalo de variações não previstas. As setas representam a corda que corresponde à transmissão de informação no sistema (Delgado, 2014).

Após definir o *buffer* é sempre aconselhado otimizar o seu tamanho. Segundo Smith (1998), o *stock* de segurança existente no buffer deve ser calculado pela *Fórmula 2.1*:

$$\text{Stock de Segurança} = Z \sqrt{\sigma_D^2 * R^2 + \sigma_R^2 * D^2} \quad (2.1)$$

onde R = tempo de reabastecimento

D = taxa de procura

$\sigma_R$  = desvio padrão do tempo de reabastecimento

$\sigma_D$  = desvio padrão da taxa de procura

Z = coeficiente da taxa de serviço ou coeficiente de risco

#### • Outras lógicas e componentes da TOC

As restantes lógicas da TOC que apareceram posteriormente ao DBR do livro *The Goal* são descritas por Gupta *et al.* (2010) e Okimura (2013) como:

- **Medidas de desempenho** – é um sistema próprio de contabilidade de ganhos que fornece informações para tomar decisões com intuito de aumentar o desempenho do sistema de acordo com a meta definida. As três medidas do sistema são: Receitas, Inventário e Despesas Operacionais.

- **Thinking process (Processo de Raciocínio)** - consiste no uso de ferramentas lógicas, como árvores e diagramas, que respondam às perguntas: “O que mudar?”, “Para o quê mudar?” e “Como causar a mudança?”.

Davies & Mabin (2009) sugerem um *roadmap* de aplicação do *Thinking process* como apresentado na *Tabela 2.2*:

**Tabela 2.2 – Roadmap de aplicação do *Thinking process***  
[Adaptado: Davies & Mabin (2009)]

FASE	QUESTÕES A COLOCAR	FERRAMENTAS A UTILIZAR	OBJETIVO
<b>Análise</b>	O que mudar? (Qual é o conflito responsável pelos efeitos indesejáveis observados? É mesmo um conflito?)	- Árvore da realidade atual (CRT)	Identificação do problema
<b>Estratégia</b>	Para o quê mudar? (Que aspetos podemos introduzir para eliminar o conflito? Como mudar para alcançar os objetivos sem criar efeitos negativos?)	-Árvore de realidade futura (FRT)	Construção da solução
<b>Tática</b>	Como causar a mudança? (Que impedimentos existem para a mudança e como os ultrapassar? Que ações devemos tomar e qual deve ser a ordem de implementação?)	-Árvore de pré-requisitos (PRT) -Árvore de transição (TT)	Planeamento da implementação

- **Critical Chain (Cadeia Crítica)** é uma solução da TOC para a gestão de projetos que desafia algumas premissas do planeamento e controlo de cronogramas tradicionais. A cadeia crítica protege contra as imprevisibilidades onde o pulmão do projeto defende o caminho mais longo de atividades e o pulmão de convergência salvaguarda o cumprimento final dos restantes caminhos. Este método também tem o objetivo de reduzir as multitarefas prejudiciais e permitir a execução de projetos em ambientes multiprojetos.

- **Viable Vision (Visão Viável)** - as soluções desta lógica devem assegurar a implementação de uma cultura de melhoria contínua nas empresas de modo a apresentar um desempenho exponencialmente crescente e seja fornecida estabilidade em simultâneo.

A *Tabela 2.3* sintetiza as quatro componentes encontradas na Teoria das Restrições:

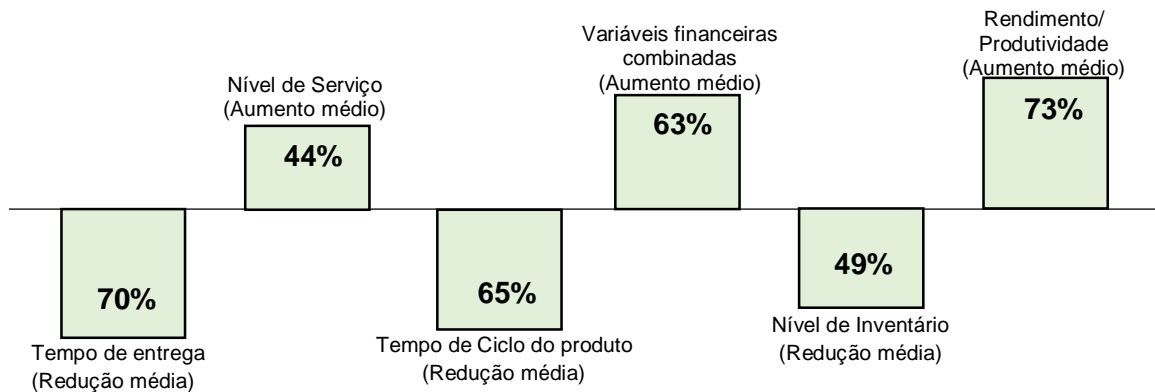
**Tabela 2.3 – Resumo das componentes TOC**  
[Fonte: Tenera (2006); Tenera & Abreu (2008)]

	Componente Prescritiva	Componente Reflexiva
<b>Componente Estratégica</b>	Conceitos e princípios	Ferramentas de pensamento lógico
	-Princípios conceptuais -Princípios gerais (As três questões básicas e os Cinco passos fundamentais) -Os seis níveis de resistência	- Árvore da realidade atual (CRT) -Diagrama de resolução de conflitos (CRD) -Árvore de realidade futura (FRT) -Árvore de pré-requisitos (PRT) -Árvore de transição (TT)
<b>Componente Operacional</b>	Soluções Específicas	Medidas de Desempenho
	- DBR - Cadeia crítica (CC) - Gestão das reservas (BM) - Análise VAT	- Receitas, T - Inventário, I - Despesas operacionais, OE

### • Benefícios e limitações da TOC

De acordo com vários estudos, a aplicação de ferramentas TOC evidencia um aumento dos níveis de produção, enquanto se dá à redução de inventário, *Lead Time* e variabilidade do tempo de ciclo no processo produtivo. Da lista do *Fortune* 500, empresas como *Amazon*, *Boeing*, *Delta Airlines*, *Ford Motor Company*, *General Electric* e *General Motors* aplicaram com sucesso soluções baseadas na Teoria das Restrições (Watson *et al.*, 2006).

O principal benefício da TOC é o aumento das receitas, a redução do inventário e das despesas operacionais (Goldratt & Cox, 2004). Num estudo quantitativo, realizado por Mabin & Balderstone (2000), em 82 empresas que aplicaram a TOC nos sistemas produtivos foram obtidos os resultados encontrados na *Figura 2.8*, notando-se que nenhuma empresa obteve resultados negativos:



**Figura 2.8 – Resultados de um estudo de aplicação da TOC**  
[Adaptado: Mabin & Balderstone (2000)]

Pegels & Watrous (2005) aplicaram a TOC em outro caso na indústria e, além da redução do tempo de produção em 26%, concluem que se garante melhorias consideráveis na produtividade e na eficiência, devido ao potencial da TOC na identificação de problemas e como guia para corrigir.

A TOC é efetiva em melhorar a consciência sobre o funcionamento de processos e nos gargalos existentes de forma a melhorar a *performance* de um sistema e tornar uma organização mais competitiva (Beck & Andres, 2004). Outra vantagem da metodologia é o não balanceamento da capacidade dos processos do sistema, pois o balanceamento pode ser visto como uma má decisão devido ao efeito estatístico da variabilidade ser cumulativo e fará que o inventário de produto em curso possa aumentar (Jacobs *et al.*, 2009).

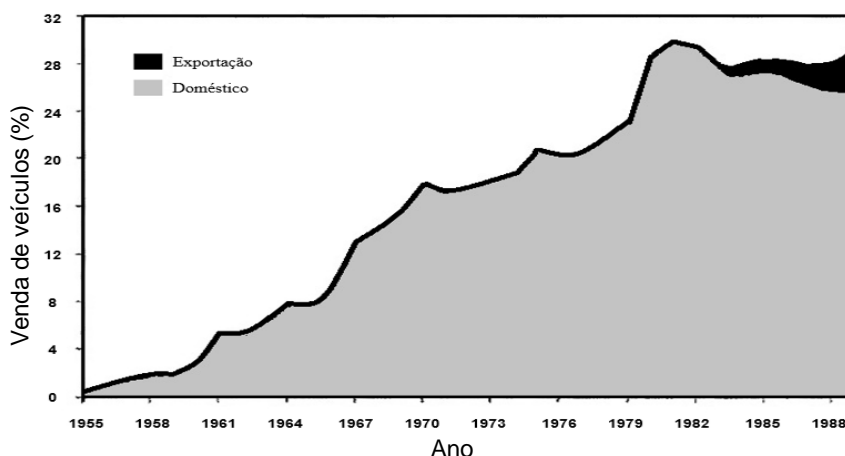
Algumas limitações da aplicação da teoria das restrições, para Watson *et al.* (2006) e Beck & Andres (2004), são:

- É necessário muitas vezes alterar a política existente numa organização para realizar as mudanças que são necessárias em algum sistema.
- Possibilidade de resistência e conflito dentro da equipa, pois o foco das medidas de desempenho é na área que se encontra subordinada que dá suporte à restrição e será prejudicada.
- Nas organizações que apenas focam nos resultados individuais não é possível realizar melhorias, pois é necessário ser compensado o esforço coletivo.
- O modelo não refere ao aspeto pessoal encontrado nos postos de trabalho e não existe preocupação sobre as implicações das interações entre os colaboradores.

## 2.2. Fundamentos de *Lean* e ferramentas

A *Lean Production*, também conhecida por Produção Magra, surgiu associada ao aumento de complexidade dos processos. Esta metodologia abrange desde a concepção e desenvolvimento de produtos, ao aprovisionamento dos materiais, peças e componentes, aos processos produtivos e à comercialização dos produtos. É dada ênfase à otimização dos processos, procurando reduzir ou eliminar as atividades que não acrescentam valor e, assim, gerar valor aos *stakeholders* (Machado, 2007). Em *Lean*, possuir um *Lead Time* longo ou a incapacidade de produzir segundo JIT (*just in time*) causa perdas de produtividade e é errado não se utilizar o tempo de ciclo como uma medida de desempenho (Levinson, 2007).

O aumento da oferta de produtos tornou cada vez mais complexo de gerir os sistemas. Na indústria automóvel tinha-se verificado acumulação de inventários WIP, aumento do *Lead Time* e a existência de processos cada vez mais complicados o que originou elevados tempos de resposta e ao incumprimento de pedidos. A produção em massa fez com que os custos aumentassem em sentido contrário com a tendência de descida dos preços de venda. Para contrariar a tendência existente até meados do século XX, a Toyota “emagreceu” os desperdícios da sua estrutura e dos seus sistemas e conseguiu contrariar esta tendência com o redesenho das regras da gestão industrial (Pinto, 2008). A Toyota apostou numa filosofia de melhoria contínua, introduziu práticas de prevenção de falhas, implementou sistemas *Pull* com recurso ao controlo da produção através de *Kanban*. Como consequência do sucesso da implementação, passou a apresentar uma maior gama de produtos com alta qualidade e preços competitivos. Foram eliminados os desperdícios e focou-se na satisfação do cliente. Na *Figura 2.9* encontram-se os resultados em percentagem de vendas derivados da aplicação da metodologia *Lean* na indústria automóvel no Japão:



**Figura 2.9 – Expansão Japonesa no mundo da produção automóvel**  
[Fonte: Pinto (2012); Adaptado: Womack *et al.* (1990)]

Segundo Womack & Jones (1996) existem 5 princípios que definem a metodologia *Lean*:

- 1) Definir o valor, precisamente da perspetiva do cliente final, em relação ao preço e tempo de entrega que um produto específico é capaz de oferecer;
- 2) Identificar a cadeia de valor completa para cada produto ou família de produtos e eliminar os desperdícios;



- 3) Tomar ações que façam fluir as atividades que geram valor;
- 4) Fornecer o que o cliente quer, apenas quando ele quer;
- 5) Perseguir a perfeição.

A identificação e eliminação de desperdícios (*Muda*) é o aspeto mais fundamental para uma organização que implementa *Lean*. No sistema de produção *Toyota*, Shigeo Shingo identifica os 7 *Muda* que correspondem aos grandes desperdícios que não acrescentam valor para o cliente. Na *Tabela 2.4* encontram-se identificados os *Muda* existentes e descritos de acordo Pinto (2012):

**Tabela 2.4 – Identificação e descrição dos 7 *Muda***  
[adaptado: Hines et al. (2011)]

Desperdício	Descrição	Ferramentas <i>Lean</i> recomendadas
<b>1) Sobreprodução</b>	Desperdício com maior impacto nas organizações. Resultante de produzir algo antes de ser realmente necessário. Provoca excesso de inventário, utilização excessiva de recursos quando não são necessários, consumo de recursos energéticos e materiais, antecipação de encomendas de matérias-primas ou perda de flexibilidade no planeamento.	- <i>Takt Time</i> - <i>Kanban</i> - <i>SMED</i>
<b>2) Defeitos</b>	Produção que necessita de reprocessamento ou de ser eliminada. É provocada por problemas de qualidade, baixa <i>performance</i> de entrega ou erros humanos. Uma das consequências originadas é a diminuição da produtividade.	- <i>Jidoka</i> - <i>Kaizen</i> - <i>Poka-Yoke</i> - <i>Standard Work</i>
<b>3) Stocks desnecessários</b>	Ter uma quantidade de inventário superior às necessidades imediatas resulta em custos desnecessários de posse de material ou de baixo serviço ao cliente.	- <i>Just-in-time</i> - <i>Heijunka</i> - <i>Sistema Pull</i>
<b>4) Produção inapropriada</b>	Desperdício mais difícil de identificar e eliminar. Resulta de incompatibilidades entre os processos necessários para fazer um produto e os processos existentes. Investimento na formação, padronização e simplificação ou eliminação de processos pode ser a solução deste desperdício.	- <i>Kaizen</i>
<b>5) Transportes</b>	A movimentação de pessoas, informação ou materiais resulta em perdas de tempo, esforço e custos. Pode ser reduzida pela alteração de <i>layouts</i> , sistemas de transporte e cédulas de fabrico, redução dos trajetos de movimentação e novos planeamentos operacionais com maior flexibilidade.	- <i>VSM</i> - Fluxo contínuo
<b>6) Esperas</b>	Longos períodos de inatividade de operadores, informação ou materiais, resulta num aumento do <i>Lead Time</i> . É importante avaliar quanto tempo é dedicado a atividades de valor acrescentado para saber como eliminar as esperas. As principais causas deste desperdício são: problemas de <i>layout</i> , atrasos com entregas de fornecedores, grandes lotes de produção e balanceamento deficiente de capacidade produtiva das linhas em relação à procura.	- Fluxo contínuo - <i>Standard Work</i> - <i>Heijunka</i> - <i>SMED</i>
<b>7) Movimentações desnecessárias</b>	As causas das movimentações que não acrescentam valor ao processo podem ser: má organização dos postos de trabalho resultante da fraca ergonomia, falta de formação ou desmotivação dos operadores e <i>layouts</i> inapropriados.	- <i>5S</i> - <i>VSM</i>

- **Principais ferramentas *Lean***

- **Just-in-time** - Num sistema de produção JIT ideal: o sistema de gestão da produção deve determinar que nada é produzido, transportado ou a provisionado antes do instante próprio, o local

de descarga deve estar localizado à distância mínima do onde é processado, o inventário tem de ser minimizado, o sistema de gestão de mercadorias tem de ser fiável e pontual e os materiais apenas são comprados quando necessários e sincronizados com a produção (Levinson, 2007). O JIT incorpora as ferramentas: **Fluxo contínuo** (redução do *Lead Time* com alteração de *layouts* de forma a converter em células de trabalho que se dedicam a vários processos), **Takt Time** (ritmo do fluxo produtivo variar de acordo com a necessidade do cliente) e **Sistema Pull** (produzir baseando na procura, ou seja, fornecer o que o cliente quer e apenas quando ele quer) (Tenera & Pinto, 2014).

- **Kanban** – Palavra japonesa que significa “carta” ou “sinal” e é a denominação para uma carta de controlo de inventário usado num sistema *Pull*. Um *Kanban* determina as quantidades a produzir em cada processo funcionando como o sistema nervoso da produção *Lean*, pois gere a produção tal como o nosso cérebro e nervos controlam o nosso corpo. Funciona como um sistema de informação que integra a fábrica que conecta todos os processos entre si, em que identifica de onde um produto ou componente chegou e o seu destino. Interliga de forma harmoniosa toda a cadeia de valor à procura do cliente (The Productivity Press, 2002). O inventário está limitado ao número de *Kanban*, pois se não existe algum pedido ou contentor vazio então não é feita a produção (Levinson, 2007). Tem como objetivos: reduzir a produção em excesso, aumentar a flexibilidade de resposta aos pedidos do cliente, coordenar a produção de lotes, simplificar de forma visual a aquisição de produtos e eliminar inventários WIP desnecessários (The Productivity Press, 2002).

- **5S** - Os conceitos inerentes a esta ferramenta encontram-se detalhados na *Tabela 2.5* segundo Pinto (2008) e Simões (2010):

Tabela 2.5 – Identificação e definição dos 5S

5S	Terminologia japonesa	Definição
<b>Organização</b>	<b>Seiri</b>	É o “senso de utilização, ou seja, remover do local de trabalho tudo o que não for necessário para a atividade.
<b>Arrumação</b>	<b>Seiton</b>	É o “senso de tudo no seu lugar” onde o material deve estar identificado e organizado eficientemente. Cada coisa deve ter o seu lugar para ser encontrada facilmente, ou seja, <i>easy to see</i> (fácil de ver), <i>easy to get</i> (fácil de obter) e <i>easy to return</i> (fácil de devolver)
<b>Limpeza</b>	<b>Seisou</b>	É o “senso de que a limpeza é fundamental para a melhoria”. Deve ser feita a limpeza e inspeção assegurando que é feita de forma eficaz. Num ambiente limpo é mais fácil de encontrar anomalias e transmite imagem de produção com qualidade para o exterior.
<b>Uniformização</b>	<b>Seiketsu</b>	É o “senso de conservação”, a criação de padrões é essencial para a manutenção dos progressos alcançados. A criação de <i>checklists</i> e auditorias pode ajudar a garantir este senso.
<b>Disciplina</b>	<b>Shitsuke</b>	É o “senso de responsabilidade e de autodisciplina”. É fundamental treinar e cumprir os padrões e que as boas práticas tem de estar bem solidificadas na organização. A Disciplina significa o cumprimento dos 4S anteriores com rigor.

- **Gestão visual** - É utilizada para que os operadores ou qualquer pessoa que não esteja familiarizada com o processo consiga interpretar toda a informação necessária de forma imediata e

clara. Os postos de trabalho devem dispor de sinais sonoros e visuais e no caso de ser aplicado um semáforo esta ferramenta está associada a outra chamada **Andon** (Sebrosa, 2008).

- **SMED (Single Minute Exchange of Die)** – Consiste num método de melhoria através da redução do tempo de *setup* ou de troca de ferramenta. A sua aplicação eficaz permite reduzir o *downtime*, ou seja, os tempos de paragem das máquinas entre produções (Simões, 2010).

- **Standart Work** – Com esta ferramenta é possível normalizar melhorias de processos ou processos. Devem ser procuradas novas oportunidades de melhorias, delineadas as tarefas que acrescentem valor e buscados sempre novos métodos (Zeferino, 2014). A realização das tarefas tem de utilizar métodos o mais eficientes possíveis que não criem desperdícios e que seja focado ergonomicamente nas movimentações humanas (Alukal, 2003).

- **Value Stream Mapping (VSM)** – Alguns sistemas produtivos não são possíveis de visualizar a “olho nu”, logo esta ferramenta é recomendada porque permite obter uma visão completa de todo o sistema. O mapa é realizado num produto ou família de produtos iniciando na matéria-prima e terminando no cliente e ilustra o conjunto de todos os processos, o valor acrescentado e o não-acrescentado (Tabanlı & Ertay, 2012). Além disso, o mapa de valor identifica desperdícios e permite eliminá-los o máximo possível. É mais fácil com recurso ao mapa planear e tomar as ações mais apropriadas que aumentem o valor ao sistema (Khalid *et al.*, 2014). Na *Figura 2.10* encontra-se os quatro passos metodológicos utilizados na criação de um VSM por Rother & Shook (1999) e Steth *et al.* (2014):

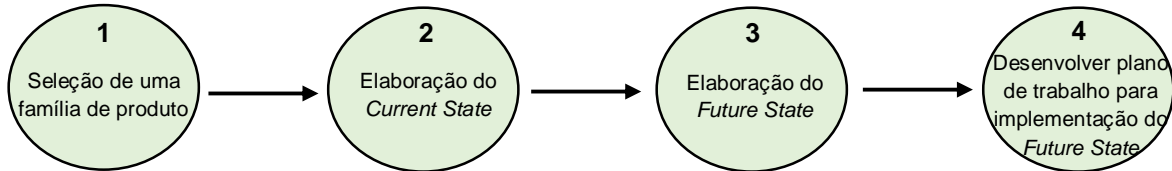


Figura 2.10 – Metodologia de criação de um VSM

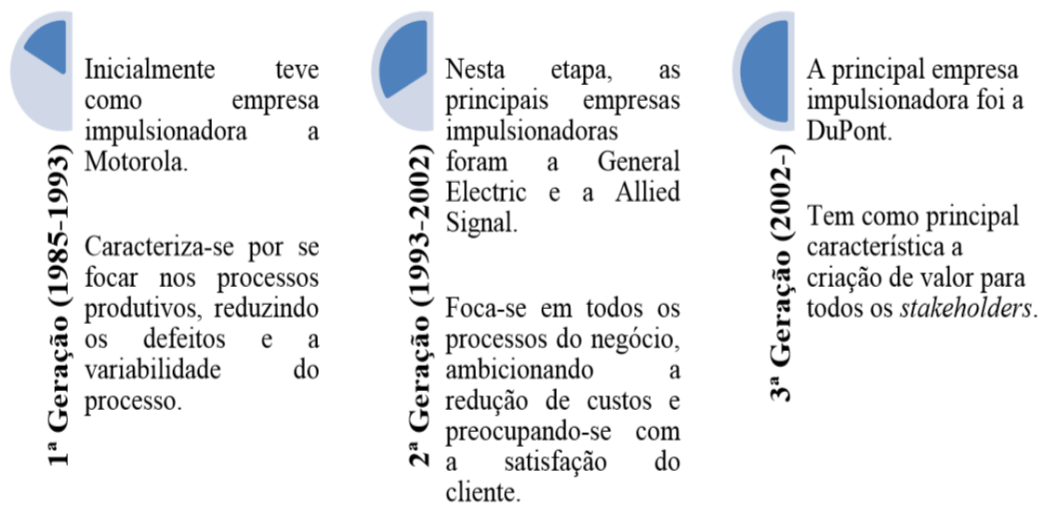
- **Kaizen** – Esta ferramenta corresponde a um conjunto de ações com foco na melhoria dos processos de forma contínua e envolve tanto os gestores como todos os colaboradores de uma organização. A essência desta filosofia está no equilíbrio entre melhorias contínuas rotinadas e sugestões de melhorias futuras (Magnier-Watanabe, 2011).

Existem outras ferramentas também utilizadas na metodologia *Lean*, tais como: **TPM (Total Productive Maintenance)** (filosofia de gestão de manutenção), **Heijunka** (Nivelamento da produção e trabalho uniformizado), **Poka-yoke** (método de prevenção de falhas), **Jidoka** (automação inteligente) e **Relatório A3** (método de resolução de problemas) (Sebrosa, 2008).

### 2.3. Fundamentos de 6-Sigma e ferramentas

Desenvolvido pela *Motorola* e explorado pela *General Electric*, consiste na melhoria da qualidade através da redução de defeitos. Evoluiu e tornou-se num sistema de gestão da qualidade, tal como as normas ISO 9000 ou QS 9000 (Pinto, 2008; Aized, 2012), com foco na

melhoria do desempenho. Atualmente segue uma estratégia de criação de valor para o produto com base nas oportunidades de inovação (Simões, 2010). Existem 3 gerações da metodologia 6-Sigma como representadas na *Figura 2.11*:

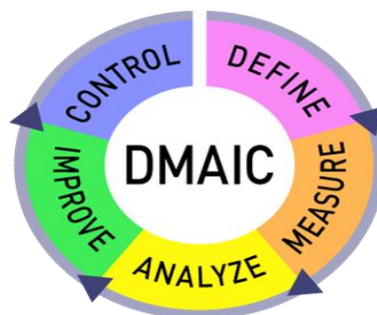


**Figura 2.11 – Evolução da metodologia 6-Sigma**  
[Fonte: Quintaneiro (2014)]

A metodologia 6-Sigma tem como base estatística a tentativa de otimizar os processos de para que possuam uma taxa de eficiência 99,99966% e um desempenho onde apenas sejam encontrados 3,4 defeitos por cada milhão de oportunidades. A letra grega  $\sigma$  (Sigma) corresponde ao desvio-padrão para representar a variabilidade do processo, logo em 6-Sigma pretende-se que os processos possuam uma variação menor que 6 desvios em relação à média (Pyzdek, 2003; Quintaneiro, 2014)

Segundo Simões (2010), atualmente existem duas versões de 6-Sigma: melhoria de processos com a utilização do ciclo DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*) e a concepção e desenvolvimento dos produtos/serviços (DFSS - *Design For Six Sigma*) que permite prevenir fragilidades funcionais.

O ciclo DMAIC, como representado na *Figura 2.12*, é uma ferramenta de melhoria contínua de processos produtivos que permite reduzir o número de peças não-conforme num sistema.



**Figura 2.12 - Ciclo DMAIC**  
[Fonte: Oriel (2015)]

Uma síntese das 5 fases e as ferramentas recomendadas a ser utilizadas em cada fase do ciclo DMAIC segundo Aized (2012), Khandekar & Sulakhe (2014), Jacobs *et al.* (2009) e Quintaneiro (2014) encontram-se apresentadas na *Tabela 2.6*:

Tabela 2.6 – Descrição das fases e ferramentas utilizadas no ciclo DMAIC

Fase	Descrição	Ferramentas recomendadas
<b>DEFINE</b> (Definir)	Define-se com precisão o esboço do projeto onde são identificados os seus objetivos e o âmbito. Escolhe-se a equipa participará na realização do projeto e decidem-se as datas. Identificam-se os clientes e as suas prioridades, ou seja, o que o cliente considera ter mais impacto na qualidade.	- Project Charter - VOC (Voz do Cliente) - Análise de reclamações - <i>Run chart</i> e Fluxograma
<b>MEASURE</b> (Medir)	Define-se a <i>baseline</i> do projeto, ou seja, a localização ou foco do problema. Definem-se as métricas a avaliar e o critério de rejeição utilizado no processo de inspeção. Recolhem-se dados e avalia-se o sistema em análise.	- Diagrama de Pareto - Cartas de Controlo - Estudo R&R
<b>ANALYZE</b> (Analisar)	Determinam-se os fatores críticos e o porquê de serem gerados defeitos identificando as causas-raiz de cada problema prioritário que originam variabilidade no processo. Buscam-se as ferramentas de modo a conseguir mais facilmente a melhoria contínua do processo.	- Diagrama de Ishikawa - Desenho de Experiências (DOE) - Matriz FMEA - Análise da variância (ANOVA)
<b>IMPROVE</b> (Melhorar)	Propõe-se, avalia-se e implementam-se soluções para cada problema encontrado de modo a eliminar defeitos e melhorar o processo respeitando as necessidades do cliente.	- <i>Brainstroming</i> - Fluxograma de oportunidade - 5 Porquês
<b>CONTROL</b> (Controlar)	Garantir que as soluções sejam alcançadas com sucesso e que se mantenham sustentadas a longo prazo. As melhorias devem ser standardizadas e o controlo estatístico dos processos modificados deve ser implantado.	- Cartas de controlo - Testes de hipóteses - Auditorias

- **Ferramentas de 6-Sigma mais frequentemente utilizadas**

- O **SPC** (*Statistical Process Control*) é uma ferramenta que permite fazer a monitorização do comportamento de um processo para poder reduzir a variabilidade e determinar através de estimativas dos parâmetros do processo se é capaz de produzir de acordo com as especificações. As duas ferramentas utilizadas no controlo estatístico de processo são o **Desenho de Experiências** (DOE) e as **Cartas de Controlo** (CC) (Pereira & Requeijo, 2012).

Na *Figura 2.13* encontra-se exemplificada uma Cartas de Controlo. Esta ferramenta gráfica introduzida por Shewhart demonstra a evolução de uma característica por amostra ou ao longo do tempo (Montgomery, 2005)

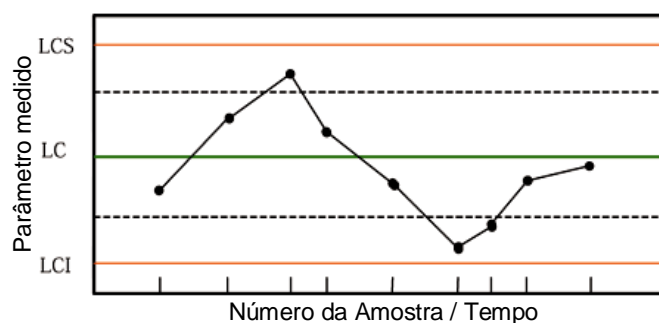


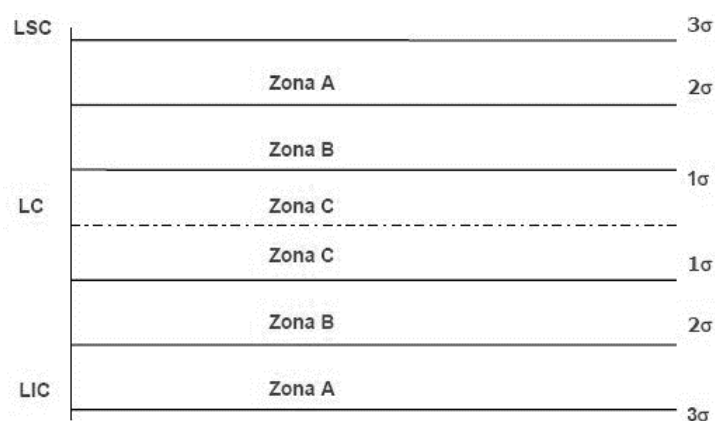
Figura 2.13 - Exemplo de uma Carta de Controlo

As duas fases de implementação das CC segundo Pereira & Requeijo (2012) são:

- Fase 1 – define-se a característica a estudar, retiram-se as amostras necessárias e calculam-se os limites de controlo e a linha central. De seguida, verifica-se se existem Causas Especiais e nesse caso eliminam-se voltam-se a calcular os limites até que só haja causas comuns.

- Fase 2 – quando o processo já se encontra em funcionamento normal são recolhidas de novo amostras e verificam-se se encontram todas dentro dos limites de controlo, ou seja, segundo controlo estatístico. Caso seja detetada alguma situação em que uma amostra seja considerada como Causa Especial, então deve-se estudar a causa e implementar as devidas ações corretivas.

A Norma ISO 8258:1991, recentemente revista na ISO 8258:2013, dita oito regras utilizadas para a deteção de causas especiais de variação na análise de Cartas de Controlo e divide em seis zonas de iguais de largura ( $\sigma$ ), tal como ilustrado na *Figura 2.14* (Montgomery, 2005):



**Figura 2.14 - Zonas das Cartas de Controlo**

As regras incluídas na ISO 8258:2013 que definem se uma amostra da característica é considerada como uma causa especial são caso (Júnior, 2014):

- 1) Um qualquer ponto fora dos limites de ação (limites de controlo  $\pm 3\sigma$ );
- 2) Nove pontos consecutivos na zona C ou para além da zona C do mesmo lado da linha central;
- 3) Seis pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente;
- 4) Catorze pontos consecutivos crescendo e decrescendo alternadamente;
- 5) Dois de três pontos consecutivos na zona A, ou além desta zona, do mesmo lado da linha central;
- 6) Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A, ou além destas zonas, do mesmo lado da linha central;
- 7) Quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central;
- 8) Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central, sem nenhum na zona C.

Os dois tipos de cartas de controlo utilizadas são: Variáveis que se referem a características suscetíveis de serem expressas em uma escala contínua, como as dimensões (Ex: metro) e peso (Ex: Kg) e Atributos quando representam valores discretos, por exemplo um produto ser “conforme” ou “não-conforme”, o número de defeitos total ou número de defeitos num produto. Os tipos de cartas de controlo mais utilizados apresentam-se na *Tabela 2.7* (Pereira & Requeijo, 2012):

**Tabela 2.7 - Tipos de cartas de controlo mais utilizados**  
[Adaptado: Pereira & Requeijo (2012)]

Cartas de Controlo de Variáveis	Cartas de Controlo de Atributos
<u>Média e amplitude:</u> Carta $\bar{X}$ e Carta $R$	<u>Proporção de unidades não-conformes:</u> Carta $p$
<u>Média e Desvio Padrão:</u> Carta $\bar{X}$ e Carta $S$	<u>Número de unidades não-conformes:</u> Carta $np$
<u>Média e Variância:</u> Carta $\bar{X}$ e Carta $S^2$	<u>Número de defeitos:</u> Carta $c$
<u>Mediana e Amplitude:</u> Carta $\bar{X}$ e Carta $R$	<u>Número de defeitos por unidade:</u> Carta $u$
<u>Observações individuais e Amplitudes Móveis:</u> Carta $\bar{X}$ e Carta $MR$	

- **DPMO (Defeitos Por Milhão de Oportunidades)** – é uma métrica comum utilizada em 6-Sigma que apenas pode ser calculada quando se obtém as seguintes informações: identificação do produto, definição do que é defeito para o cliente e quantificação das oportunidades, ou seja, chance de ocorrer defeitos. A *Fórmula 2.2* é utilizada para calcular a métrica (Jacobs *et al.*, 2009):

$$DPMO = \frac{\text{Número total de defeitos}}{\text{Número total de oportunidades} * \text{Número total de unidades}} * 1.000.000 \quad (2.2)$$

Outras ferramentas de 6-Sigma frequentemente utilizadas são: o **Fluxograma**, **Run chart**, **diagrama de Pareto** e **diagrama de Ishikawa**, embora não possuem grande complexidade técnica.

## 2.4. Sistemas TLS (TOC, *Lean* e 6-Sigma)

### 2.4.1. Comparação das três metodologias

Os três sistemas de melhoria contínua apresentam métodos diferentes para melhorar os processos produtivos das organizações. Na *Tabela 2.8* encontra-se descritas algumas das características de cada uma das metodologias segundo Sproull (2009a) e Stamm *et al.* (2009):

**Tabela 2.8 – Comparação das características das 3 metodologias**

	TOC	<i>Lean</i>	6-Sigma
<b>Teoria</b>	Gestão das restrições	Eliminação dos desperdícios e identificação do valor	Redução da variação e defeitos
<b>Foco</b>	Foco na exploração das restrições e na subordinação dos restantes processos de modo a aumentar as receitas	Foco na criação de valor, no fluxo de materiais e informação e em atingir a perfeição	Foco no problema e redução da variabilidade
<b>Pressuposto</b>	Ênfase na velocidade e no volume. Utilizar os sistemas existentes e interdependência de processos.	Melhoria do desempenho pela eliminação dos desperdícios. Muitas melhorias pequenas podem ser melhores que a análise sistemática.	O impacto no sistema irá melhorar se reduzir-se a variabilidade de todos os processos. Valorização da estatística e números.



**Tabela 2.8 – Comparação das características das 3 metodologias (continuação)**

<b>Efeito primário</b>	Ganhos rápidos	Redução do tempo de fluxo	Padronização/ processo uniforme
<b>Efeito secundário</b>	Redução de inventários e desperdícios. Contabilidade de ganhos. Melhoria da qualidade.	Menos variação e inventários. Padronização. Novo sistema contábilístico. Melhoria da qualidade.	Menos inventários e desperdícios. Ganhos rápidos. Melhoria da qualidade.
<b>Criticas</b>	Mínimo trabalho inicial. Análise de dados não é avaliada	Estatística ou sistema de análise não são avaliados	Interação do sistema não é considerada. Melhorias de processos de forma independente
<b>Impacto financeiro</b>	Melhorar ganhos	Redução do inventário e custo operacional	Redução do custo operacional

Após comparar as 3 metodologias, Sproull (2009a) realizou uma avaliação das complementaridades encontradas nas forças e fraquezas de cada uma das metodologias tal como se encontra sintetizado na *Tabela 2.9*:

**Tabela 2.9 – Complementaridade das 3 metodologias**  
**[Fonte: Okimura & Souza (2012); Adaptado: Sproull (2009a)]**

	<b>Lean</b>	<b>Seis Sigma</b>	<b>Teoria das Restrições</b>
<b>Forças</b>	1- Proporciona uma estratégia apropriada para integrar melhorias através do mapeamento do fluxo de valor e o foco para maximizar a agregação de valor e redução do desperdício. 2- Promove diretamente e defende avanços radicais na inovação. 3- Ênfase na resposta rápida para oportunidades óbvias (apenas vá e faça). 4- Mudança de cultura e do trabalho local e resistência a mudança são suportadas pelo envolvimento direto da equipe em todos níveis hierárquicos.	1- O rigor e a disciplina da abordagem estatística são usados para resolver problemas complexos, visto que não podem ser solucionados pela simples intuição ou tentativa e erro. 2- A coleta de dados suporta os objetivos do business case, e confere apoio da gerencia para obter recursos. 3- O foco na redução da variação direciona para a redução dos riscos e melhora a previsibilidade.	1- Promove a simplificação de processos e administração de recursos através do foco nas restrições para a gestão de um processo, bem como os esforços de melhoria (exploração). 2- Avalia todos os processos dentro de um contexto sistêmico para garantir que os recursos não estão limitados a capacidade das não restrições (o local de otimização do problema). 3- Distingue restrição política x física. 4- Promove direção apropriada na melhoria dos indicadores (Ganhos, inventário e custos operacionais).
<b>Fraquezas</b>	1- Pode promover a tomada de riscos sem o equilíbrio razoável com a consequência. 2- Pode não prover suficiente evidências dos benefícios do negocio perante uma gestão contábil tradicional. 3- Tem limitação quando lida com problemas de interatividade complexas e recorrentes (usa a solução de problema por tentativa e erro).	1- Métodos estatísticos não são bem adequados para análise da integração do sistema. Pode se calcular a o nível sigma para uma especificação do produto, mas não se pode ter certeza de como estabelecer o nível sigma para as interações dos processos e falhas. 2- Forte dependência nos métodos estatístico, pois a natureza do processo é reativa, uma vez que requer uma repetição do processo para desenvolver tendências e níveis de confiança. 3- O forte foco no processo estável pode levar a total aversão ao risco e poderá penalizar abordagens inovadoras que, pela sua natureza será instável e variável.	1- Muita ênfase na exploração da restrição pode levar a aceitar ou tolerar grandes perdas nos processos que não são restrições do sistema. 2- Se o processo subjacente é fundamentalmente inadequado, não importa o quão bem gerido, ele pode não alcançara as metas e objetivos. 3- Não trata diretamente da necessidade de mudança cultural. O processo de mudança da TOC é muito orientado tecnicamente e reconhece plenamente a necessidade das técnicas de TQM e outros métodos de melhoria.
<b>Complementaridade</b>	1- Força 3 do Seis Sigma 2- Força 2 do Seis Sigma e Força 4 da TOC 3- Força 1 do Seis Sigma e Força 3 da TOC	1- Força 1 do Lean e Força 2 da TOC. 2- Força 2 do Lean e Força 3 do Lean. 3- Força 2 do Lean.	1- Força 1 do Lean e Força 2 do Seis Sigma 2- Força 2 do Lean 3- Força 4 do Lean

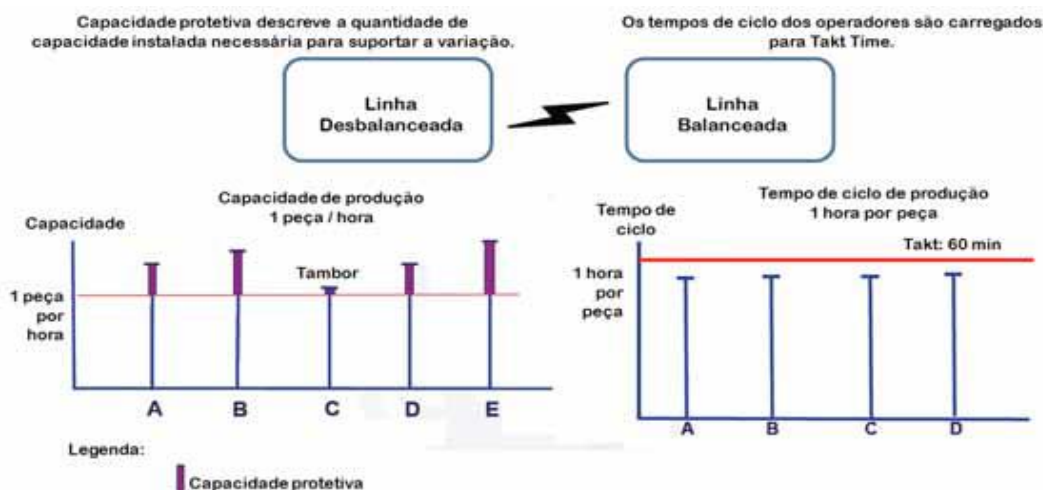


Observa-se na tabela anterior que existem mais pontos de sobreposição do que aspectos de exclusão entre as 3 metodologias o que torna viável a construção de modelos integrados voltado para melhoria contínua de processos que aumente a competitividade tornando mais robustas as atuais estratégias das empresas (Pacheco, 2014).

Okimura (2013) e Pacheco (2014) sintetizam a complementaridade encontradas nas três metodologias como:

- A *Lean* possui foco no fluxo visando na redução de perdas e na agregação de valor para o cliente. A aplicação de ferramentas de mapeamento de fluxo de valor e de resolução de problemas com o envolvimento de todos os níveis hierárquicos facilita uma mudança cultural voltada à melhoria contínua de sistemas produtivos;
- 6-Sigma possui foco no problema que auxilia na redução da variabilidade e defeitos fornecendo uma maior estabilidade e previsibilidade aos processos. Devido a possuir um método próprio estruturado e disciplinado com ferramentas estatísticas para a resolução de problemas complexos provoca melhorias na qualidade de processos e no desenho de novos produtos;
- A TOC apoia na identificação das restrições do sistema onde é feito o foco de todas as ações de melhoria com esforços direcionados para *Lean* e 6-Sigma. O gerenciamento da restrição possibilita que se obtenham além das melhorias sistemáticas, redução dos inventários. Por possuir um sistema de contabilidade de ganhos proporciona uma maneira apropriada para melhoria das medidas de desempenho (Ganhos, Inventários e Custos Operacionais).

A discordância mais relevante entre metodologias, segundo Okimura (2013) é a utilização nos sistemas de produção de linha balanceada no caso de *Lean* e ser desbalanceada na TOC como apresentado na *Figura 2.15*:



**Figura 2.15 – Capacidade balanceada versus Capacidade desbalanceada**  
[Fonte: Okimura (2013); Adaptado: AGI (2009)]

## 2.4.2. Integração TLS e potenciais benefícios

Segundo Moura (2012), existem sinergias que cada metodologia pode oferecer ao interagir com as restantes. As principais interações existentes encontram-se resumidas na *Tabela 2.10*:

**Tabela 2.10 – Principais sinergias encontradas nas interações de TOC, Lean e 6-Sigma**  
**[Adaptado: Moura (2012)]**

	TOC é ajudada:	Lean é ajudada:	6-Sigma é ajudada:
TOC ajuda:		Os conceitos e ferramentas de TOC ajudam melhor a gerir o fluxo nas restrições. O <i>Thinking process</i> e o <i>Critical chain</i> ajudam a gerir projetos <i>Lean</i> .	Fornecer um foco aos projetos 6-Sigma de melhoria. A contabilidade de ganhos da TOC permite melhor avaliar o impacto financeiro das melhorias 6-Sigma.
Lean ajuda:	Os conceitos e ferramentas <i>Lean</i> ajudam na implementação de soluções TOC ao fornecer melhor controlo visual, menor dependência de computadores e fazer com que haja maior envolvimento dos colaboradores nos projetos de melhoria.		Os conceitos e ferramentas <i>Lean</i> ajudam a focar o 6-Sigma na redução da variação e aumento da satisfação dos clientes, com a eliminação dos desperdícios que torna os processos mais rápidos e com tempo de resposta mais rápidos.
6-Sigma ajuda:	A satisfação dos clientes gerada em 6-Sigma dá balanço e reforça a longo prazo os ganhos operacionais da visão TOC. As ferramentas estatísticas ajudam a melhor analisar, controlar e ajustar os <i>buffers</i> de produto.	O foco de 6-Sigma na redução da variabilidade ajuda ao <i>Lean</i> alcançar processos mais estáveis e fiáveis devido ao estudo e otimização da variação dos processos.	

Os fatores críticos que devem ser considerados na construção de modelos integrando as três abordagens para tornar os modelos híbridos mais robustos são (Pacheco, 2014):

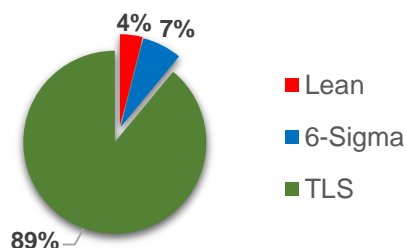
- 1) Que elementos, práticas e ferramentas escolher de cada abordagem de acordo com a real necessidade e prioridade da organização (reduzir variabilidade, reduzir perdas e melhorar o fluxo ou eliminar as restrições?);
- 2) Fazer um correto diagnóstico sobre a cultura, objetivos, fraquezas e forças da organização;
- 3) Necessidade de quebrar mentalidades nas empresas, como o não envolvimento efetivo dos colaboradores do nível operacional (característica comum da cultura de implementação da TOC e 6-Sigma);
- 4) Criar princípios alinhados com os objetivos e estratégia da empresa.

Para Sproull (2009b), a chave do sucesso dos modelos híbridos TLS é em primeiro lugar identificar o processo que restringe os ganhos, de seguida decidir como explorar a restrição aplicando as ferramentas *Lean* e 6-Sigma adequadas e em terceiro lugar subordinar tudo o resto à restrição e caso necessário quebrar a restrição com investimento monetário.

- **Potenciais benefícios da implementação de modelos TLS**

Experiências controladas em fábricas reais demonstraram que é possível obter melhorias mais consideráveis quando se combina o modelo de TOC dos 5 passos de focos com *Lean* e 6-Sigma em comparação com a aplicação de cada metodologia isoladamente (Pirasteh & Farah, 2006). É possível aumentar drasticamente o *share* de mercado sem gastar qualquer dinheiro devido ao *Lean* e 6-Sigma (Sproull, 2009b).

A mais publicitada implementação de sistemas TLS ocorreu durante dois anos e meio em 21 fábricas da empresa *Sanmina-SCI*. Durante esse período foram realizados completamente mais de 100 projetos separados. Nas fábricas que utilizaram a metodologia TLS obtiveram quase 4 vezes maior proveito que nas onde foram realizados projetos *Lean* ou 6-Sigma isolados. Das 21 fábricas, 11 utilizaram apenas a metodologia 6-Sigma, 4 utilizaram apenas *Lean* e 6 fábricas aplicaram um modelo híbrido TLS. As pessoas envolvidas na implementação do projeto TLS afirmaram que se encontraram com um maior sentimento de orgulho com os resultados alcançados na implementação do modelo (Woeppel, 2009). Os resultados do mesmo estudo relativos à contribuição para a redução de custos de cada modelo encontram-se representados na *Figura 2.16*:



**Figura 2.16 – Contribuição para a redução de custos de cada metodologia**  
[Adaptado: Pirasteh & Farah (2006)]

Um último caso de sucesso da implementação de modelos TLS surgiu na empresa Equatoriana *Acosa*. O retorno das melhorias implementadas foi 7 vezes superior ao investimento originando um aumento de 40% da margem bruta apenas no primeiro ano (Qualiplus, 2015). Os resultados são tangíveis para todos os *stakeholders*, logo é possível afirmar que a implementação de modelos TLS são sem qualquer dúvida uma aposta segura.

### 2.4.3. Exploração de modelos TLS existentes

Após uma exploração dos modelos TLS atualmente existentes verificou-se que os modelos encontrados são genéricos em relação aos destinos onde podem ser utilizados. Normalmente o destino foco dos modelos TLS, até agora construídos, é em sistemas produtivos, mas também são igualmente capazes de ser aplicados em projetos ou em organizações e serviços.

Os modelos mais revelantes encontrados são: o *Ultimate Improvement Cycle* (UCI) de Bob Sproull; o iTLS introduzido primeiro por Pirasteh e Farah em 2006 e revisto no livro “*Profitability with no boundaries*” por Pirasteh e Fox de 2010; o modelo TOCLSS introduzido pela AGI (Goldratt Institute) e desenvolvido no livro *VELOCITY* de Dee Jacob, Suzan Bergland e Jeff Cox; o modelo Excelência 360° criado pelo consultor Eduardo Moura e o 7BG (*7 Behaviors to Goal*) proposto por Gutierrez em 2012. O estudo dos primeiros modelos previamente referidos será mais aprofundado, porque são os que aparentaram ter maior consistência no objetivo da dissertação da construção de um modelo TLS para ser testado num caso de estudo.

- **Modelo iTLS**

O modelo utiliza as características de TOC para identificar, focar a melhoria à otimização global do sistema, elevar a restrição e aumentar ganhos e aproveita as metodologias *Lean* e 6-Sigma de

modo eliminar desperdícios e variabilidade. Como é possível observar na *Figura 2.17*, o modelo funciona como um ciclo de melhoria contínua pois, após ser aplicado, os esforços voltam a ser concentrados na melhoria de uma nova restrição (Okimura, 2013):



**Figura 2.17 – 7 passos do modelo iTLS**  
[Fonte: Okimura (2013); Adaptado: Pirasteh & Fox (2010)]

O modelo é constituído por 7 fases que integram de forma sinérgica as 3 metodologias. As 7 etapas são descritas por Pirasteh & Fox (2010), Okimura & Souza (2012) e Pacheco (2012) como:

**1 - Mobilizar e focar** – Deve-se envolver os *stakeholders* e manter desde logo uma comunicação aberta entre todas as pessoas-chaves envolvidas. Reúnem-se os esforços para encontrar a restrição recorrendo às ferramentas da TOC e posterior análise das causas-raiz. É decidido nesta fase onde e como devem ser aplicados os esforços e quais serão os benefícios ou retornos esperados.

**2 - Explorar a restrição** - As ferramentas *Lean* de mapeamento do valor e a criação de indicadores são as mais sugeridas de aplicar.

**3 - Eliminar as fontes de desperdícios** – Após identificado onde se encontra o valor, então deve-se aplicar as ferramentas *Lean* que eliminem os desperdícios e façam aumentar os ganhos e reduzir os inventários e despesas operacionais.

**4 - Controlar a variação do processo** – Utiliza-se 6-Sigma nesta fase para reduzir a variabilidade dos processos críticos. São implementadas as ferramentas estatísticas de modo a controlar as variações do processo.

**5 - Controlar as atividades de suporte** – Nesta fase tenta-se estabelecer padrões e mecanismos que permitam que os processos críticos se mantenham controlados. Os processos que alimentam a restrição devem estar subordinados à mesma para garantir que não haja falhas na alimentação do processo.

**6 - Remover a restrição e estabilizar** – Para manter o processo estável e controlado, a chave deve passar pela educação e treino dos funcionários com base nas exigências dos clientes. É preciso garantir que os indicadores de desempenho sejam cumpridos.

**7 - Reavaliar o sistema** – É necessário verificar os objetivos definidos inicialmente e se existe uma nova restrição. A situação final e a inicial tem de ser comparada em termos de desempenho do sistema utilizando os indicadores mais apropriados.

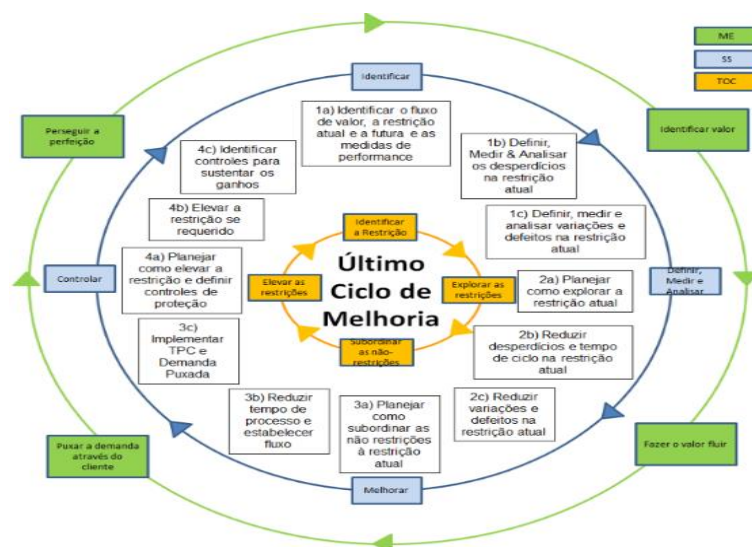
Na *Tabela 2.11* encontram-se as ferramentas recomendadas a utilizar em cada fase por Pirasteh & Fox (2010):

**Tabela 2.11 – Ferramentas recomendadas em cada passo do modelo iTLS**  
[Fonte: Okimura (2013); Adaptado: Pirasteh & Fox (2010)]

	1- Mobilizar e focar	2- Explorar a restrição	3- Eliminar as fontes de desperdícios	4- Controlar a variação do processo	5- Controlar as atividades de controle	6- Remover a restrição e estabilizar	7- Reavaliar o sistema
<b>ToolBox</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Missão</li> <li>- Visão Global</li> <li>- Analizar estado atual</li> <li>- Identificar o problema</li> <li>- Identificar rede fluxos</li> <li>- Modificar os objetivos</li> <li>- Escopo do trabalho</li> <li>- Membros do time</li> <li>- Entregas</li> <li>- Benefícios, Retorno sobre os investimentos</li> <li>- Linha de tempo do projeto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Focar na restrição</li> <li>- Identificar o valor</li> <li>- WCE</li> <li>- Mapeamento de fluxo de valor</li> <li>- Remover atividades que não agregam valor</li> <li>- QFD</li> <li>- Plano de contenção</li> <li>- Controle de fluxos</li> <li>- Métricas</li> <li>- causa Raiz</li> <li>- 5 S</li> <li>- Reinstruir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medir os processos</li> <li>- Analisar e verificar as fontes de desperdícios</li> <li>- Estabelecer pulmões</li> <li>- CE-CNX</li> <li>- FMEA</li> <li>- Implementar mudanças</li> <li>- Identificar os gaps da VOC/VOCP</li> <li>- Instruir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar parâmetros de controle</li> <li>- Estabelecer plano de controle</li> <li>- controles de DPM (Defeitos por milhão)</li> <li>- Estabilizar a rede de fluxos</li> <li>- Implantar mudanças</li> <li>- Analisar a variância</li> <li>- Qualidade / Finanças / Ops / Controle de DDE</li> <li>- Novo fluxo de valor</li> <li>- Instruir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Subordinar atividades afluentes a restrição</li> <li>- Implementar e controlar as métricas</li> <li>- Revisar o SOP</li> <li>- Implantar auditorias</li> <li>- Eficiência Global das Métricas</li> <li>- Reinstruir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implantar poka yoke</li> <li>- Focar em sistemas de prevenção</li> <li>- Envolver colaboradores</li> <li>- Estabelecer indicadores de controle</li> <li>- MOR - Padronização</li> <li>- QBR - Padronização</li> <li>- Implementar TOS</li> <li>- Treinar e educar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ir para o passo 1</li> <li>- Identificar e priorizar a restrição do sistema</li> </ul>
	TOC	LEAN		SEIS SIGMA		LEAN	TOC

- **Modelo UIC**

Este modelo combina sinergicamente de forma harmoniosa as melhores práticas dos ciclos de melhoria TOC, *Lean* e 6-Sigma gerando uma estratégia de melhoria contínua poderosa e rentável. O modelo possui alguma liberdade, fornecendo uma estratégia que foca os recursos na geração do maior retorno sobre o investimento possível (Sproull, 2009a; Okimura & Souza, 2012). O modelo apresenta um formato aparentemente complexo, mas segundo Sproull (2009a) é mais simples a aplicação deste modelo UCI (*Figura 2.18*) do que a implementação de um projeto *Lean* num sistema.



**Figura 2.18 – Modelo *Ultimate Improvement Cycle***  
[Adaptado: Sproull (2009a)]



O modelo é focado nos 5 passos de foco da TOC, nos 5 princípios de *Lean* e nas 5 etapas do ciclo DMAIC que avançam juntas na lógica do modelo (Pacheco, 2012). Na *Tabela 2.12* encontram-se identificados e descritos os passos do modelo e as ferramentas e ações recomendadas de usar em cada passo segundo Sproull (2009a):

**Tabela 2.12 – Passos e ferramentas do modelo UCI**  
[Adaptado: Sproull (2009a)]

Passo	Descrição	Ferramentas e ações recomendadas
<b>1a) Identificar o fluxo de valor, a restrição atual e futura e as métricas de performance</b>	Nesta fase é caracterizado o fluxo de valor, são identificadas as restrições que limitam todo o potencial do processo e são definidas, medidas e analisadas as fontes de perdas por desperdícios, defeitos e variações.	- VSM, análise de fluxo e inventário e análise das métricas de <i>performance</i>
<b>1b) Definir, medir e analisar os desperdícios na restrição atual</b>		- <i>Run chart</i> , diagrama esparguete, estudo do tempo e movimentações e <i>Future State vs Current State</i>
<b>1c) Definir, medir e analisar variações e defeitos na restrição atual</b>		- Diagrama de Pareto, diagrama causa-efeito e cadeia causal
<b>2a) Planejar como explorar a restrição atual</b>	A restrição é melhorada e estabilizada em simultâneo. O processo deverá ficar mais confiável, previsível e consistente.	- Planejar como explorar a restrição atual
<b>2b) Reduzir desperdícios e tempo de ciclo na restrição atual</b>		- 5S, células de trabalho, <i>Standard Work</i> e gestão visual.
<b>2c) Reduzir variações e defeitos na restrição atual</b>		- <i>Roadmap</i> de resolução de problemas, DOE e caminhos de redução de variações
<b>3a) Planejar como subordinar as não- restrições à restrição atual</b>	O fluxo de materiais, informações e produtos deve ser otimizado. É necessário resolver os problemas que afetem a consistência do fluxo.	- Planejar como subordinar as não- restrições à restrição atual
<b>3b) Reduzir o tempo de processamento e estabelecer o fluxo</b>		- Melhorar fluxo e balanceamento de linhas
<b>3c) Implementar DBR e sistema <i>Pull</i></b>		- Otimizar <i>buffer</i> e puxar a procura
<b>4a) Planejar como elevar a restrição atual e definir controlos de proteção</b>	Nesta fase é necessário assegurar que todas as mudanças feitas e as melhorias realizadas não sejam desperdiçadas.	- Planejar como elevar a restrição atual e definir controlos de proteção
<b>4b) Elevar a restrição caso seja necessário</b>		- Análise de capacidade e de custo/benefício
<b>4c) Implementar controlos de proteção para sustentar os ganhos</b>		- Auditorias de processo e análise de políticas

Pode-se considerar que este modelo é o que aparenta integrar melhor lógicas e ferramentas das três metodologias e que provavelmente trará melhores resultados na aplicação em um sistema produtivo industrial, logo será construído no seguinte capítulo um modelo TLS com base no modelo TOC dos 5 passos de foco de Goldratt conciliado com o modelo *Ultimate Improvement Cycle* de Sproull, o qual será testado num caso de estudo proposto.

# 3

## Proposta de Aplicação Metodológica

A escolha da utilização de um modelo TLS que combine ferramentas da TOC, *Lean* e 6-Sigma já era demonstrado por Pirasteh & Farah (2006), (Sproull, 2009b) e Woeppel (2009) como a metodologia de melhoria contínua que melhor permite minimizar custos e maximizar os benefícios na qualidade. Após revisto o valor que pode trazer a um sistema, será proposto neste capítulo um modelo que aproveite as melhores práticas encontradas em modelos existentes procurando-se chegar assim a uma abordagem integradora dos 3 sistemas de melhoria contínua clássicos.

Genericamente pretende-se que o modelo TLS proposto possua flexibilidade de modo a poder ser implementado em qualquer sistema produtivo, mesmo que já tenha sido potenciado previamente por projetos de melhoria *Lean* e/ou 6-Sigma. Na *Figura 3.1* encontra-se esquematizado o modelo TLS proposto:

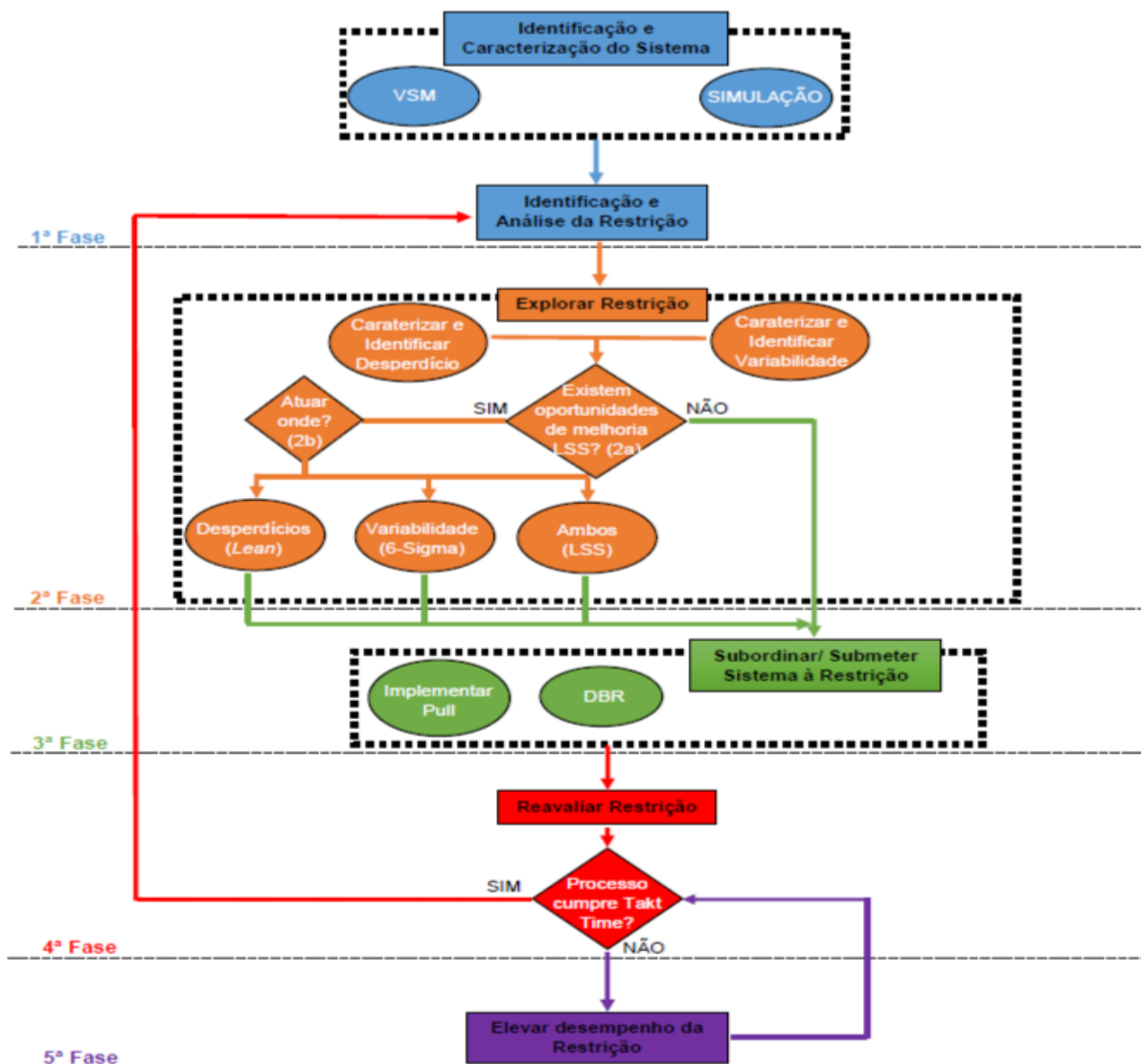


Figura 3.1 – Modelo TLS proposto

O modelo TLS anteriormente proposto servirá como um mapa de implementação de um projeto de melhoria contínua. Será utilizado como um guia, embora possam existir possíveis alterações ou adaptações resultantes do *output* obtido em cada fase. O modelo apresenta-se como flexível e existem pontos onde é necessário tomar decisões. Poderá também ocorrer que em alguns sistemas existam fases que não sejam necessárias de aplicar, no caso de previamente já serem aplicadas as lógicas ou ferramentas indicadas para essas fases.

A lógica seguida na conceção do modelo proposto foi em adaptar o modelo TOC dos cinco passos de foco, desenvolvido por Goldratt, e completar com as lógicas que aparentam faltar ao modelo original. Da exploração dos modelos TLS existentes, aquele que apresentou ser mais benéfico e que poderá completar algumas lacunas do modelo TOC dos cinco passos de foco é o modelo *Ultimate Improvement Cycle*, desenvolvido por Sproull.

A primeira fase do modelo TLS proposto além de apenas identificar a restrição através da observação do ponto de acumulação de inventário WIP, como sugere o primeiro dos cinco passos do modelo original da TOC, são calculadas as métricas de desempenho do sistema e é identificado o fluxo de valor como proposto no modelo de Sproull. Uma ferramenta que se verificou faltar nos modelos existentes é o recurso à simulação de modo a estudar as variações do nível de WIP, logo para a conceção da primeira fase do modelo proposto, a utilização da simulação em simultâneo com a análise do valor através da construção de um VSM é visto como um passo em falta nos modelos existentes, o qual foi acrescentado ao modelo TLS proposto onde a sua mais-valia será testada.

Na segunda fase, tal como no segundo passo do modelo de Goldratt é explorada a restrição sem recorrer a investimento. Aqui foi seguida a abordagem da caracterização e identificação de desperdícios e de variabilidade aproximadamente como é indicado no modelo UIC, a diferença para o modelo TLS proposto é a decisão a ser tomada sobre que metodologia aplicar de acordo com a verificação da existência de oportunidades de melhoria, ou seja, se é necessário atuar com *Lean*, 6-Sigma ou com *Lean-Six-Sigma* (LSS). Para Goldratt, este passo passa apenas por espremer o potencial produtivo ao máximo dos processos restritivos e assim elevar a capacidade da restrição tornando-a mais eficiente que antes.

No modelo dos cinco passos de foco, o terceiro passo consiste na subordinação do sistema à restrição. No modelo proposto acrescentasse a lógica de implementar *Pull* e DBR encontrado no modelo de Sproull. O modelo TLS proposto possui uma quarta fase onde é feita a reavaliação da restrição. Aqui que difere dos outros modelos existentes pois existe uma decisão neste ponto. No modelo proposto, se for cumprido o *Takt time*, o ciclo pode ser fechado e nesse caso retorna-se à primeira fase de identificação da restrição, enquanto no modelo de Goldratt, é elevado o desempenho da restrição antes de reavaliar o processo.

No fecho do primeiro ciclo no modelo proposto é pretendido que seja feito o controlo através de auditorias como sugere Sproull e deve-se evitar a inércia como refere Goldratt. No caso de não se ter conseguido cumprir o *Takt Time*, então é procedido à quinta fase do modelo TLS proposto onde se procura investimento de modo a que o desempenho da restrição seja elevado até que deixe de limitar o sistema com a falta de capacidade produtiva para fazer face à taxa da procura.



De seguida descreve-se cada fase do modelo proposto, com maior detalhe, evidenciando-se assim as diferentes ferramentas indicadas para serem aplicadas. A proposta seguinte foi feita com base na fundamentação teórica descrita no estado da arte, capítulo 2 da presente dissertação, e é pretendido testar a sua validade num sistema referente ao caso de estudo descrito no capítulo 4.

### 3.1. Analisar Sistema e identificar Restrição

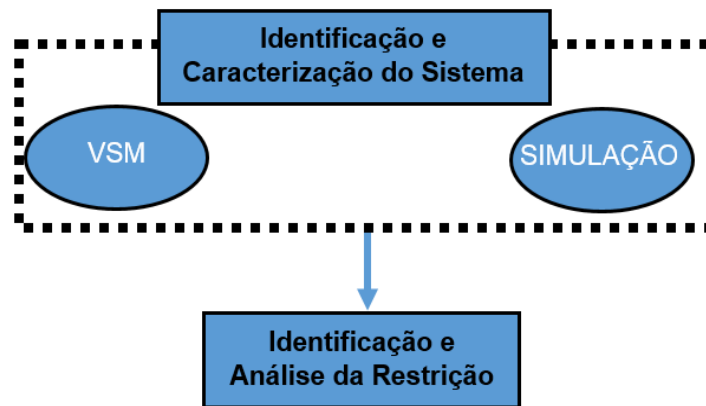


Figura 3.2 – Etapas da 1ª Fase do modelo

Na Figura 3.2 encontra-se esquematizada a 1ª Fase do modelo. Após ser identificado qual é o sistema produtivo a ser estudado, este deve ser caracterizado detalhadamente de modo a que quem seja responsável pela implementação do modelo num sistema ganhe o conhecimento necessário requerente para que a implementação da melhoria contínua seja feita com sucesso.

Para se poder chegar à identificação do processo restritivo do sistema deve-se:

- Fazer um diagrama de processo, medir cada capacidade nominal e calcular as métricas de produção possíveis como por exemplo a Eficiência, o FTT (*First Time Through*) e o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Determina-se os *Lead Time* existentes e com base na informação recolhida constrói-se um VSM para se compreender o fluxo de valor existente no sistema atual.

- Recorrer à simulação real do sistema, caso possível, em sistemas mais dinâmicos, ou em alternativa a um *software* de simulação que demonstre a evolução do inventário antes de cada processo em condições normais de funcionamento. Como condições normais é pressuposto que apenas se cumpra o horário normal de produção e cada processo “empurre” para a seguinte todo o produto que é capaz de produzir a um ritmo normal de trabalho.

Após comparar o resultado obtido pelas duas ferramentas (VSM/Simulação), procede-se à identificação, com fiabilidade, da restrição do sistema sendo aí que se deve concentrar o foco da melhoria e mobilização das equipas de trabalho.

No caso da informação sobre a restrição que foi previamente analisada durante a caracterização do sistema for insuficiente, então deve-se analisar mais detalhadamente esse processo. Assim irá permitir um melhor conhecimento do funcionamento da restrição e de como planear a abordagem de melhoria a utilizar.

### 3.2. Explorar Restrição

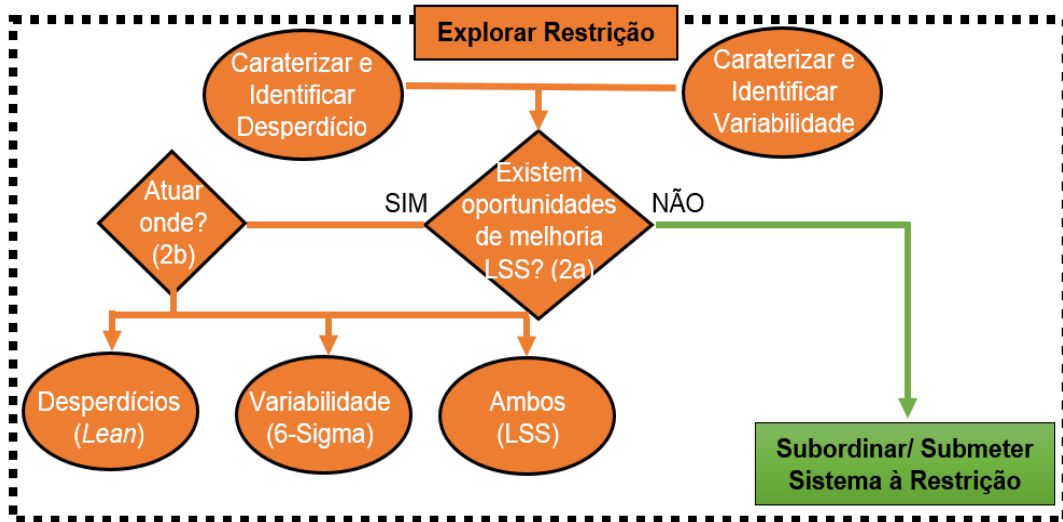


Figura 3.3 - Etapas da 2ª Fase do modelo

Nesta 2ª Fase, como esquematizado na *Figura 3.3*, de modo a explorar a restrição, existem dois caminhos a ser tomados. O primeiro é identificar e medir os desperdícios, também designados por *MUDA*, recorrendo à utilização de possíveis ferramentas lógicas tais como:

- Estudar deslocações recorrendo a diagramas esparguete;
- Recorrer ao *gemba* para detetar oportunidades nos 5S e a adequação da gestão visual;
- Verificar a necessidade de criação ou alteração de *Standard Work* e a existência de perdas nas trocas de ferramentas (*Changeover*);
- Verificar se os indicadores-chave de desempenho e OEE estão a ser medidos.
- Comparar o *Current State* do VSM com o *Future State* pretendido e planear eventos *Kaizen* de melhoria contínua a implementar.

Simultaneamente à identificação e medição de desperdícios é realizada a deteção da variabilidade do processo e recomenda-se utilizar as seguintes ferramentas e lógicas:

- Aplicar o VOC (Voz do Cliente), *Run Charts*, *Checksheets*, Medição dos Sistemas de Análise (MSA) ao processo;
- Criar diagramas de Pareto para identificar as principais causas de variabilidade;
- Estudar as causas e os efeitos com diagramas de causa-efeito (Ishikawa) e “5 Porquês”;
- Realizar estudos R&R (Repetibilidade e Reprodutibilidade);
- Estudar o impacto económico (potencial ganho) da redução de defeitos.

Após a Identificação, é necessário responder à pergunta que corresponde à fase 2a: Se existem oportunidades de melhoria LSS que possam ser exploradas na restrição. Se não existirem possíveis melhorias significativas a implementar, este caso aplica-se a sistemas que já se encontrem fortemente explorados e que qualquer mudança apenas criará desperdícios em vez de melhorar efetivamente o sistema, então deve-se subordinar o sistema à restrição que corresponde à terceira fase do modelo TLS proposto.

Na grande maioria dos sistemas existe sempre algo a melhorar. Para essa situação a pergunta que se deve responder é onde se deve aplicar as melhorias e com as ferramentas de que metodologia. Onde se deve atuar no processo é a pergunta correspondente à fase 2b do modelo.

No caso de as oportunidades de melhoria solucionarem a eliminação de desperdícios no processo, então atuar com as ferramentas *Lean* mais apropriadas para as oportunidades *Lean* encontradas, tais como:

- Aplicar os 5S, melhorar a gestão visual da secção e criar fichas de melhoria;
- Implementar SMED;
- Alocar máquinas, proceder à organização do trabalho e reduzir deslocações desnecessárias;
- Criar *Standard Work* para as alterações realizadas e proceder à normalização;
- Implementar o fluxo contínuo, criar células de trabalho que se dediquem a vários processos e reduzir *Lead Time*.
- Criação dos indicadores em falta, tal como OEE ou outras métricas de produção.

Atuar segundo a metodologia 6-Sigma em caso de necessidade de reduzir, ou até mesmo eliminar, variações e defeitos procurando:

- Criar fluxograma de oportunidade e aplicar matriz FMEA;
- Implementar o SPC recorrendo ao DOE e à aplicação de cartas de controlo e respetiva medição da capacidade do processo;
- Estudar fiabilidade de equipamentos;
- Formar operadores sobre redução da variabilidade, manutenção e atuação nas paragens e encaves de máquinas;
- Reduzir DPMO até se aproximar do nível 6 de sigma.

### 3.3. Submeter Sistema à Restrição

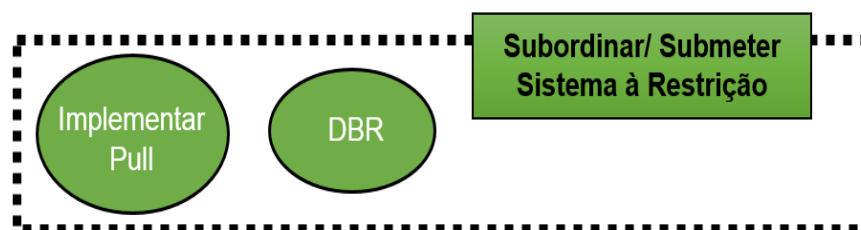


Figura 3.4 - Etapas da 3ª Fase do modelo

A 3ª Fase do modelo (Figura 3.4) ocorre após a aplicação das melhorias segundo ferramentas *Lean* e/ou 6-Sigma. Existem casos de sistemas que já implementam estas ferramentas e, para esses casos, é necessário verificar se estão a ser utilizadas de maneira correta.

Nesta fase implementa-se o sistema *Pull* e aplica-se a ferramenta DBR da TOC para o planeamento da produção com recurso a *Kanban*. Os *Kanban* necessitam de ser dimensionados segundo a informação da capacidade da restrição e devem garantir que o *buffer* antes da restrição esteja sempre abastecido para evitar paragens nesse processo mais crítico ou nos CCR.

### 3.4. Reavaliar Restrição

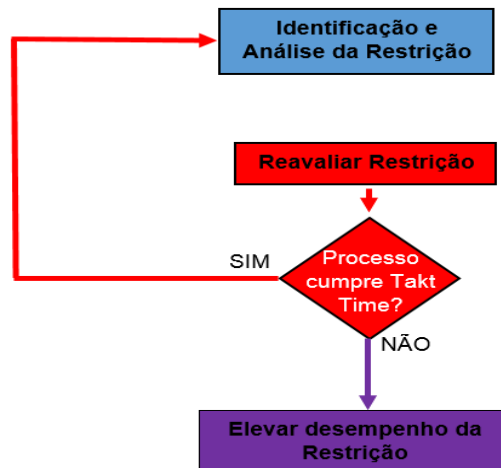


Figura 3.5 - Etapas da 4ª Fase do modelo

Após as melhorias, a restrição é então reavaliada na 4ª Fase do modelo como esquematizado na *Figura 3.5*. Aqui é verificado se o processo é capaz de cumprir o *Takt Time* do sistema. Se for possível cumprir o objetivo então retorna-se à 1ª Fase onde se determina a nova restrição do sistema, podendo ser atualizado o VSM ou recorrer-se a uma nova simulação. Caso o *Takt Time* não seja cumprido segue-se então para a elevação do desempenho da restrição que corresponde à fase seguinte do modelo TLS proposto. É importante, caso não seja até então aplicado, recorrer a auditorias internas com foco no controlo das melhorias implementadas nos processos, porque a falta de inspeção e controlo pode provocar uma deterioração do processo que faz com que as melhorias efetuadas percam os resultados obtidos inicialmente ou até mesmo que o processo volte a ser a restrição novamente.

### 3.5. Elevar desempenho da Restrição

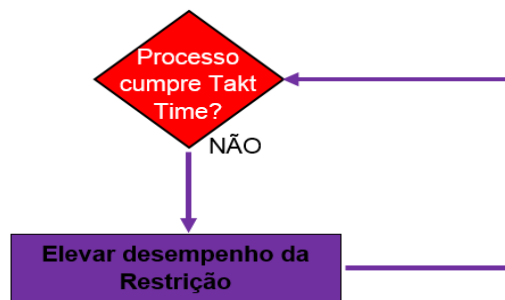


Figura 3.6 - Etapas da 5ª Fase do modelo

Na *Figura 3.6*, ou seja, na 5ª Fase o desempenho da restrição necessita de ser elevado com investimento monetário no processo como solução. O investimento pode ser feito recorrendo a:

- Compra de novas máquinas e equipamentos;
- Contratação de mais operadores;
- Alteração do *layout*;
- Resolução de fatores externos ao sistema;
- Busca de melhor tecnologia e inovação.

# 4

## Caso de Estudo

Neste capítulo será feita uma abordagem ao grupo da empresa, à Unidade Industrial e ao sistema em estudo. Será representado o diagrama de processo atual e será caracterizado o funcionamento de cada processo do sistema, com mais enfoque no processo crítico que corresponderá à restrição do sistema.

### 4.1. Caraterização do grupo

Fundado em 1870, o Grupo Amorim, S.G.P.S., também conhecido por Corticeira Amorim, é uma das maiores empresas multinacionais portuguesas contando com 144 anos de liderança no sector da cortiça. Destaca-se largamente de qualquer outra empresa do ramo ao ser responsável pela transformação de 35% da cortiça mundial. Neste momento, conta com mais de 3.350 colaboradores e possui uma vasta carteira de clientes, sendo esta, superior a 20.000 em todo o mundo (Amorim, 2015b).

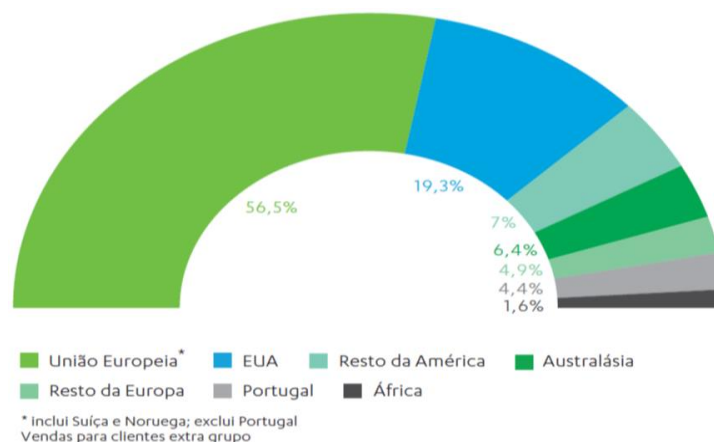
Presente em 72 países, desde a Argélia até à Argentina passando por Espanha e EUA. O grupo está representado mundialmente em 30 unidades industriais (11 de matéria-prima (MP) e 19 de Soluções de Cortiça), 42 empresas de distribuição, 11 *Joint Ventures* e 248 principais agentes (Amorim, 2015c). Na *Figura 4.1* encontra-se o mapa representativo para a Europa e África:



**Figura 4.1 - Mapa representativo da presença do Grupo Amorim na Europa e em África**  
[Adaptado: Amorim (2015c)]

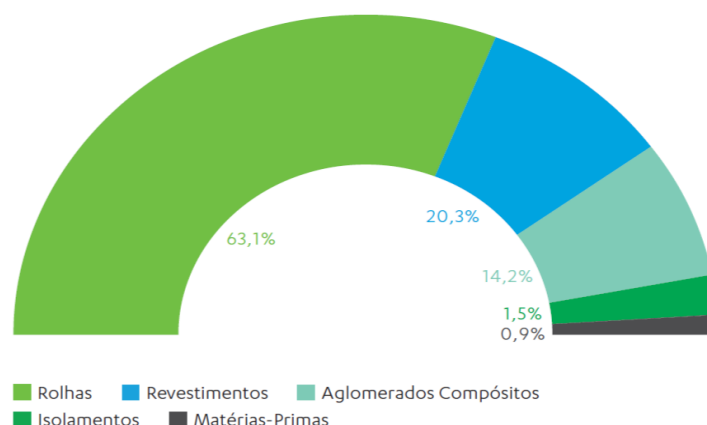
Para obter um volume anual de vendas superior a 560 Milhões de euros, o mercado nacional é insuficiente, logo a zona de distribuição da empresa tem a necessidade de abranger além-fronteiras. Do total de vendas feitas em 2014, como representado na *Figura 4.2*, apenas 4,4% se destinaram ao mercado nacional. Os maiores clientes do grupo são os países da União Europeia responsáveis por 56,5% das compras e seguido dos Estados Unidos da América com quase 20% do volume total de vendas (Amorim, 2015c).

A rede de distribuição da empresa é alargada ao ponto de existirem clientes em praticamente todos os países do mundo. Este é um dos grandes fatores de sucesso da empresa, pois permite que o *stock* sofra rotatividade evitando a degradação e perda de valor e que haja produção excedentária e desnecessária.



**Figura 4.2 - Vendas consolidadas por área geográfica**  
[Fonte: Amorim (2015c)]

As principais áreas de atividade em que o grupo está presente são: a produção de rolhas, representada através da empresa Amorim & Irmãos, S.A., a indústria de revestimentos, os aglomerados compósitos, isolamentos e no negócio de matérias-primas, representado pela empresa Amorim Florestal, S.A.. Outro departamento principal, responsável pelo grande crescimento e inovação face à concorrência é o departamento I&D onde são investidos cerca de 6 Milhões de euros anualmente (Amorim, 2015b).

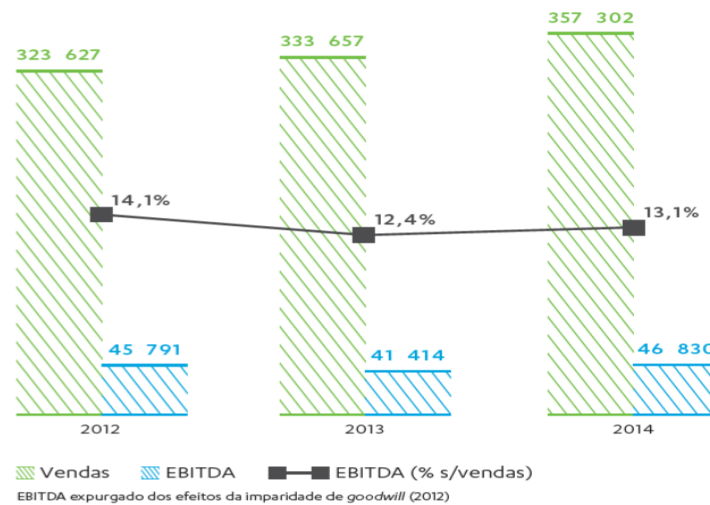


**Figura 4.3 - Vendas consolidadas por Unidade de Negócio**  
[Fonte: Amorim (2015c)]

Como é possível observar na *Figura 4.3*, o negócio em 2014 que representou o maior volume de vendas foi o das rolhas com 63,1% do total de vendas consolidadas, seguido dos revestimentos, dos aglomerados compósitos, dos isolamentos e com a menor fatia do bolo total de vendas as matérias-primas (Amorim, 2015c).

Na transição de 2013 para 2014, como mostra a *Figura 4.4*, o volume de venda de rolhas aumentou em mais de 20 milhões de euros e consequentemente os *Earnings before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization* (EBITDA) gerado pelas vendas. Esta subida é positiva pois além de

ter aumentado a quantidade vendida, o valor gerado também aumentou em 2014, invertendo a tendência observada de 2012 para 2013 em que existiu perda de valor comercial do produto pois o EBTIDA de 2013 diminuiu mesmo que as vendas tenham aumentado (Amorim, 2015c).



**Figura 4.4 – Volume de vendas e EBITDA do negócio de rolhas em 2012, 2013 e 2014**  
[Fonte: Amorim (2015c)]

O caso de estudo explorado na dissertação foi desenvolvido numa Unidade Industrial pertencente ao negócio de rolhas. Para melhor compreender a divisão da atividade do grupo, o organigrama da empresa Amorim & Irmãos, responsável pela produção de rolhas, encontra-se disponível no *Anexo A.I*.

Em Portugal, à exceção da Unidade Industrial Equipar, todas as fábricas do grupo encontram-se localizadas na região em redor da sede administrativa da empresa no concelho de Aveiro, mais propriamente em Santa Maria de Lamas.

Existem dois grandes tipos distintos de rolhas: as naturais cortadas diretamente de pranchas inteiras de cortiça e as rolhas técnicas produzidas através da transformação de granulado de cortiça.

A rolha de maior valor dos dois tipos é a rolha natural. Para o segmento de bebidas espirituosas de luxo existe uma gama chamada de TOP SERIES® em que os clientes com maior poder de compra podem personalizar cada rolha natural ou técnica com a cobertura banhada em ouro ou até mesmo com pedras preciosas (Amorimcork, 2015a).

Para o tipo de rolhas técnicas, a mais recente gama de produtos é designada por HELIX® que permite ser utilizada em garrafas de vidro sem a necessidade de utilizar um saca-rolhas. Esta rolha tem um formato em espiral e para que encaixe com facilidade, não haja fugas de ar e seja facilitada a abertura, necessita que o gargalo da garrafa siga a mesma volumetria. As rolhas SPARK®, ou aglomerada para espumosos, e NEUTROCORK® são normalmente mais utilizadas para o engarrafamento de champanhes, espumantes, vinhos efervescentes e cervejas. A gama de produtos mais baixa, ou seja, que apresentam menor valor comercial é rolha aglomerada. Para além da comum, a rolha aglomerada pode sofrer um tratamento especial que melhora o seu desempenho técnico e previne o aparecimento de 2,4,6 Trichloroanisol (TCA), esta gama designa-se por ADVANTEC®. Dentro da mesma gama, para dar resposta a uma nova necessidade do cliente, existem as rolhas coloridas. Esta nova linha foi lançada em 2012 e é denominada por ADVANTEC



COLORS®. Para os vinhos mais comuns a rolha TWIN TOP® é mais recomendada devido à boa relação qualidade-custo que fornece ao cliente (Amorimcork, 2015a).

Na *Figura 4.5* é apresentada a gama de produtos do negócio de rolhas, descritos anteriormente:



**Figura 4.5 - Gama de produtos do negócio de rolhas**  
[Adaptado: Amorimcork (2015a)]

## 4.2. Caraterização da Unidade Industrial Equipar

Da cooperação de vários produtores de cortiça do sul da região Ribatejana fundou-se uma fábrica de modo a aproveitar a abundância da matéria-prima da zona para a transformação de rolhas. Desde a criação do grupo Amorim todo o negócio de rolhas, por decisão do conselho administrativo, sempre se encontrou centralizado na região em redor da sede do grupo, em Santa Maria de Lamas.

Em 2005 foi dado o início da laboração pela Corticeira Amorim na Unidade Industrial Equipar, primeiro parcialmente, e só de seguida, um ano mais tarde, passou a ser controlado na totalidade pela Corticeira Amorim. Esta foi uma tentativa, com sucesso, de descentralizar a produção do resto das outras UI do grupo.

O resultado da descentralização permitiu que houvesse uma redução de custos e tempo de transporte ao localizar-se mais próximo de uma grande fonte de MP, onde já existe um grande “*Know-How*” na atividade de recolha de cortiça.

A produção do segmento de rolhas técnicas, que era feita até á data em outras empresas do grupo, deslocou-se faseadamente para a UI Equipar. A fábrica possui um volume de produção superior a 1.200.000.000 de rolhas anualmente, o que a torna como uma das maiores produtoras de rolhas do mundo.

A fábrica encontra-se localizada no concelho de Coruche, intitulado como a Capital Mundial da Cortiça, mais propriamente no parque industrial de Monte da Barca, lado a lado com o Observatório Nacional do Sobreiro e da Cortiça. Na *Figura 4.6* é possível ter uma perspetiva da dimensão da UI:



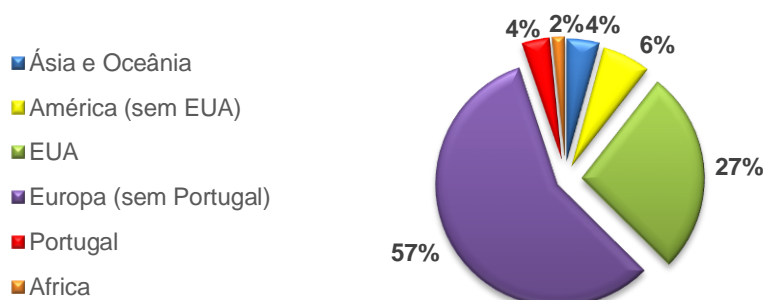


**Figura 4.6 - Fotografia Aérea da Unidade Industrial Equipar**  
[Fonte: Amorimcork (2015b)]

A Unidade Industrial conta com 183 colaboradores e possui um volume de negócios anual aproximadamente na ordem dos 60 milhões de euros.

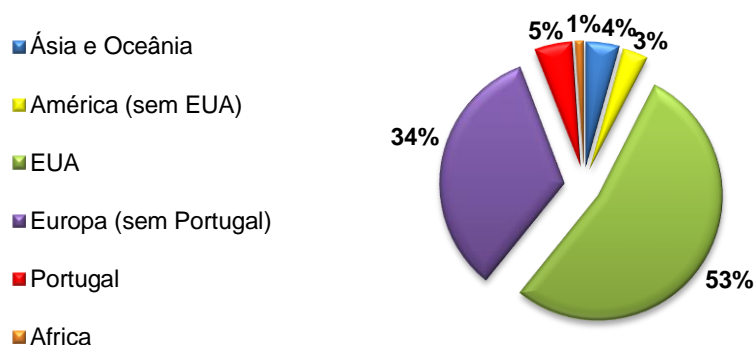
A fábrica não se dedica exclusivamente à produção de rolhas, também tem uma secção dedicada à trituração de cortiça que por dia tritura quantidades superiores a 100 toneladas. A Unidade Industrial encontra-se em forte crescimento fechando cada ano com resultados positivos. Está em fase de construção um projeto de expansão, ainda no ano de 2015, para a criação de uma secção de cozedura e armazém de cortiça de modo a evitar os gastos com fornecedores externos por um processo que pode ser realizado sob controlo e com menor custo dentro da UI.

Como é possível observar na *Figura 4.7*, do total consolidado de vendas de toda a Unidade Industrial Equipar, a maior fatia do negócio, 27%, é destinado ao mercado Norte-americano. Da quantidade vendida para Portugal, uma parte desse produto é destinada à Amorim Distribuição que apenas marcam as rolhas e exportam para adegas dentro do país ou para outros lugares no mundo. Dentro da Europa, os principais clientes que se destacam dos outros compradores são a França, a Itália, Espanha e a Rússia.



**Figura 4.7 - Vendas consolidadas por Área Geográfica da UI Equipar**

A secção *Twin Top* embora represente a maior fatia do volume de vendas total da UI Equipar, possui uma carteira de clientes mais distinta. Da mesma secção são processados dois produtos, as rolhas TWIN TOP® e “0+1”, pela *Figura 4.8* constata-se que o principal cliente com 53% do total de vendas são os EUA. É positivo, porque é um mercado forte que encomenda sempre em grandes volumes de produto. Embora pelo lado negativo torna a secção demasiado dependente a esse mercado.



**Figura 4.8 - Vendas por Área Geográfica consolidadas da Secção TT**

Os cargos dentro da Unidade Industrial Equipar encontram-se definidos como no organigrama presente no *Anexo A.II*.

Na *Tabela 4.1* encontra-se a gama de produtos atualmente produzida na Unidade Industrial e a descrição de cada produto, faltando a rolha “0+1” que se apresenta como uma variação da TT:

**Tabela 4.1 - Principais tipos de rolhas produzidos na UI Equipar**  
[Adaptado: Dinis (2014)]

Figura	Rolha
	<b>Twin Top®</b> Uma rolha técnica constituída por um corpo de cortiça aglomerada e dois discos de cortiça natural nas extremidades. Uma rolha ideal para vinhos frutados com longos períodos de estágio na garrafa;
	<b>Aglomerada</b> Uma rolha formada por um corpo de granulado aglomerado pela acção de produtos aglomerantes. Ideal para vinhos de consumo rápido. No quais o factor preço aliado à boa performance são determinantes.
	<b>Advantec® e Advantec Colours®</b> Trata-se de uma rolha aglomerada com um revestimento colorido, ideal para vinhos de grande rotação. Uma rolha de valor acrescentado, na qual todas as medidas preventivas e correctivas ao combate ao TCA, desenvolvidas pela Amorim, estão incorporadas. No caso da Colours, dotada de um revestimento alternativo com um maior leque de cores.
	<b>Aglomerada para Espumosos</b> Uma rolha aglomerada destinada a bebidas com gás de consumo rápido, em que a gama de pressão interna não exceda os 5 bar.

Existe um sistema de auditoria interno, em que os responsáveis por cada secção auditam as outras secções mensalmente, de modo a aumentar a exigência de cada setor e para que haja uma melhor partilha de informação. Através da observação das melhores práticas de cada secção é possível as restantes poderem melhorar.

Além do sistema de auditoria interno, entre todas as fábricas do negócio de rolhas do grupo Amorim, existe uma auditoria semestral em que as chefias podem conhecer a forma de funcionamento das outras unidades industriais do grupo e para que haja aprendizagem dos bons exemplos dos outros.

Previamente já existia, desenhado pelo Departamento de Engenharia da UI em *Microsoft Visio*, um *Layout* da fábrica. No *Anexo A.III* encontra-se o *Layout* das secções TT, ROSA, Trituração, EQD e Armazém e no *Anexo A.IV* está disponível o da secção AGLO (Aglomerado) e do laboratório.

### 4.3. Caracterização do sistema em estudo

O sistema explorado na presente dissertação é o processamento de rolhas técnicas constituídas por um corpo de cortiça aglomerada e dois discos de cortiça natural colados em cada lado, também conhecidas por rolhas TWIN TOP® (*Figura 4.9*), ou por rolhas que apresentam as mesmas características das anteriores, mas apenas possuem um disco de cortiça natural colado de um lado e são chanfradas no lado oposto, designadas por "0+1" (*Figura 4.10*).



**Figura 4.9 - Rolha TWIN TOP®**



**Figura 4.10 - Rolha "0+1"**

Os produtos diferenciam-se em níveis de qualidade dependendo do aspeto visual do disco colado e pela integridade física do corpo das rolhas. As rolhas são classificadas nas classes visuais: AA, A, A/B, B, B/C e C. As que apresentam melhor qualidade visual e menor percentagem de defeitos são classificadas como AA e as piores rolhas são as classificadas como C. Em cada classe as rolhas são vendidas a preços diferentes e o cliente, dependendo da sua exigência e do valor que pretende pagar, escolhe o produto adquirido. As especificações técnicas das rolhas, anteriormente mencionadas, encontram-se descritas detalhadamente na *Tabela 4.2*:

**Tabela 4.2 - Especificações das rolhas TT e "0+1"**  
[Fonte: Amorimcork (2015a)]

ENSAIOS	CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÕES
Físico-mecânicos	Comprimento	$l \pm 1,0 \text{ mm}$
	Diâmetro	$d \pm 0,4 \text{ mm}$
	Ovalidade	$\leq 0,3 \text{ mm}$
	Humidade	4% - 9%
	Peso específico	250 - 330 Kg/m <sup>3</sup>
	Força de extracção	20 - 40 daN
Físico-químicos	Teor de peróxidos	$\leq 0,1 \text{ mg/rolha}$
	Teor de pó	$\leq 3 \text{ mg/rolha}$

#### 4.3.1. Diagrama de Processo do Sistema

No diagrama de processo, encontrado na *Figura 4.11*, é possível observar o fluxo do material em curso ao longo do sistema. A partir da criação de granulado, na secção da trituração, o material atravessa por diversos processos onde existem pontos controlo de qualidade, refluxos e atividades que acrescentam valor ao produto com destino final ao Armazém de Produto Acabado (PA) pronto para ser expedido conforme as encomendas realizadas pelos clientes.

O diagrama é composto por diversos processos os quais podem ser considerados produtivos, caso acrescentem valor ao produto, ou por atividades de controlo de processo, que apenas controlam e verificam se o material num determinado posto se encontra dentro das

especificações predefinidas. Antes de cada processo existe sempre um armazenamento temporário, também designado por *buffer*, onde o material encontra-se parado até que haja disponibilidade das máquinas do processo seguinte ou em alguns casos em espera que o operador transporte para abastecer as máquinas nas quais o material será processado. Existe algumas fases do sistema em que os operadores necessitam de tomar decisões sobre o destino do material em curso, que estão representadas no diagrama através de pontos de decisão.

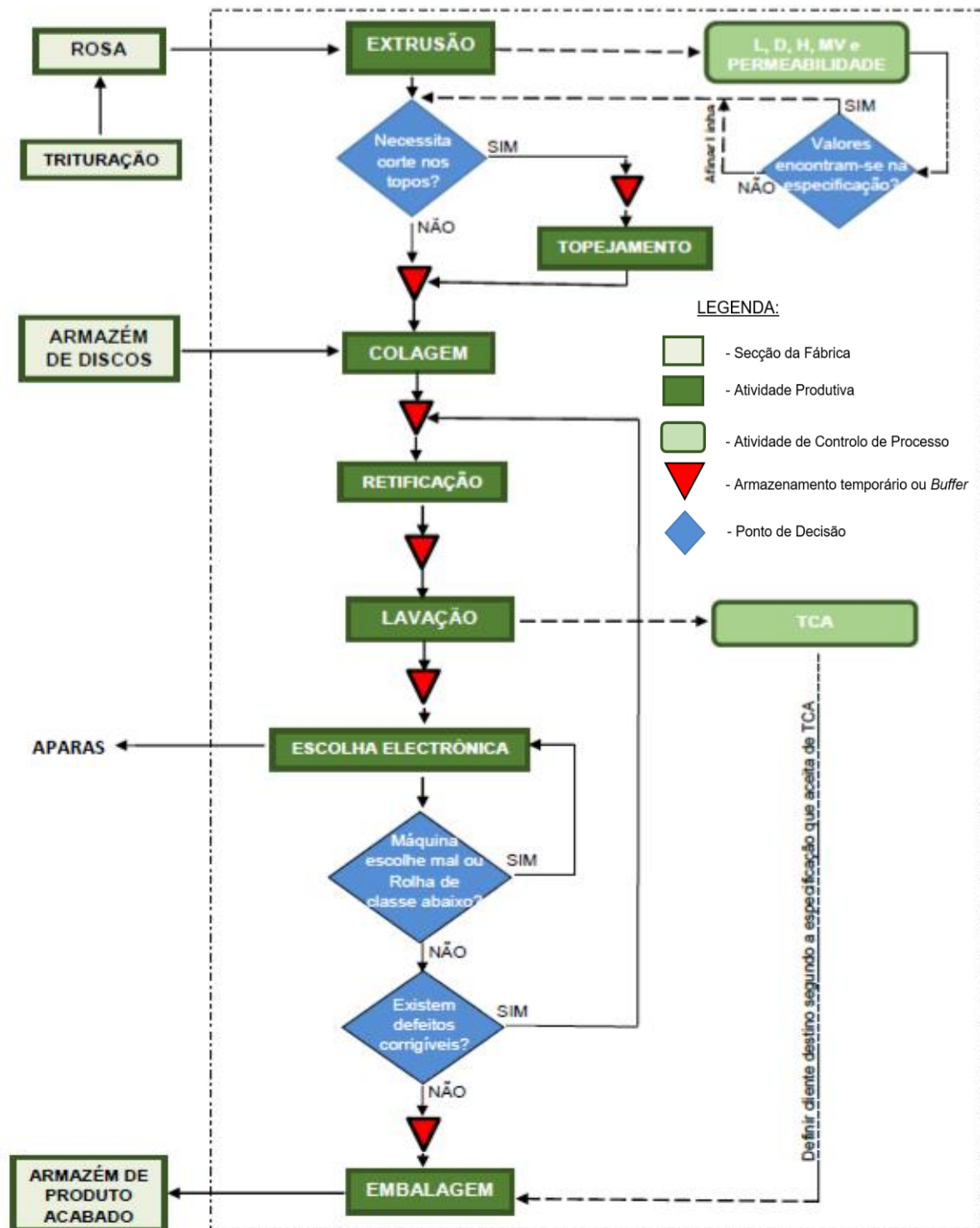


Figura 4.11 - Diagrama de Processo da produção de rolhas a secção TT

### 4.3.2. Processos que compõem o Sistema

Os processos presentes ao longo de todo o sistema produtivo das rolhas TWIN TOP® e “0+1” são descritos sinteticamente no presente subcapítulo:

**Trituração** – É aqui que se inicia o fabrico de qualquer rolha na UI Equipar. A MP é transportada diariamente de outras fábricas do grupo Amorim com recurso a camiões. As máquinas trituradoras são abastecidas de material segundo uma receita pré-estabelecida que consiste na mistura das sobras de cortiça com pranchas inteiras. Antes do abastecimento, a matéria-prima passa por filtros que removem tudo o que não é cortiça, como pedras, terra ou até metais. O produto originário desse processo é denominado por granulado. Existe uma atividade no mesmo processo que realizada uma triagem onde se separa o produto segundo o tamanho do grão. Para a produção de rolhas que abastecem o sistema é utilizado granulado grosso de cortiça (RCT) cujas dimensões podem variar entre os 3 e os 7 milímetros de diâmetro. O granulado é posteriormente armazenado em silos. Dependendo do consumo previsto para a semana seguinte, o material é transportado dentro de tubagens para a secção seguinte.

**ROSA (*Rate Optimal Steam Application*)** - O granulado, como é derivado de um produto natural, pode entrar no sistema contaminado, logo esta fase do processo é essencial. A rolha, embora não seja um alimento, é classificada como pertencente à indústria alimentar, por consequência, tem de seguir as regras rigorosas impostas à mesma indústria. Nesta secção, o granulado proveniente da Trituração sofre um tratamento por extração com vapor, de modo a eliminar o TCA e libertar os voláteis contidos no grão. Nesta etapa o material, para além do tratamento, é seco e estabilizado.

A partir deste processo, o material segue através de um sistema de tubagem *pipeline* para a secção TT ou para a secção AGLO.

**Extrusão** - O granulado proveniente do tratamento ROSA é misturado com cola de poliuretano, parafina e latex em máquinas designadas por misturadoras (*Figura 4.14*). Dependendo das condições atmosféricas ou da humidade do granulado recebido, existem receitas predefinidas. Quando a mistura estiver concluída é libertada para um carro de abastecimento que, dependendo das necessidades de cada linha, liberta a mistura para as máquinas que fazem a moldação dos corpos onde através de compactação mecânica e processamento térmico transformam o material em um bastão rígido. O bastão é cortado com recurso a serras originando vários corpos de cortiça aglomerados. O tamanho de corpos utilizado para produzir rolhas TT de 44 milímetros (*mm*) originados neste processo é de 36,2 *mm* quando é processado nas linhas 1,2,3 e é de 37 *mm* quando é processado na linha 4 da Extrusão. Todos os corpos que são criados na linha 4 tem de ser cortados nos topos no processo de Topejamento para 36,2 *mm*. Existem também outras duas especificações de corpos criados neste processo: corpos com 31,2 e 42,5 milímetros.

Na *Figura 4.12* observa-se uma linha de Extrusão composta por 8 máquinas extrusoras em cada lado da linha:





Figura 4.12 - Linha de Extrusão

A Extrusão, além das quatro linhas compostas por extrusoras, possui uma máquina moldadora, representada na *Figura 4.13*, que apenas está dedicada à criação de corpos de granulado fino de cortiça (RA) que após serem colocados a estabilizar durante um dia são transportados para a secção AGLO.

Durante este processo é feita uma atividade de controlo de qualidade onde se mede duas vezes por turno: o comprimento (L), o diâmetro (D), a humidade (H), a massa volúmica (MV) e a permeabilidade de cada uma das máquinas do processo. No caso de algum dos parâmetros controlados encontrar-se com valores fora da especificação, então o operador responsável pelo processo terá de afinar a respetiva linha até que todos os parâmetros se encontrem dentro da especificação preestabelecida.



Figura 4.13 - Máquina moldadora



Figura 4.14 - Máquina misturadora

**Topejamento** – Como referido anteriormente, a linha 4 da Extrusão apenas é capaz de originar corpos de 37 milímetros, logo todos os corpos criados nessa linha têm obrigatoriamente de ser processados aqui. As 6 máquinas do Topejamento cortam os topos reduzindo o comprimento de 37 para 36,2 milímetros. Após os corpos serem topejados, são transportados com recurso a empilhador para os silos que armazenam os corpos antes da Colagem. Dentro dos silos os corpos originados neste processo são misturados com os produzidos nas restantes linhas de Extrusão.

**Colagem** – Este é o processo que diferencia as rolhas TT e “0+1” das outras gamas de produtos, pois a característica deste tipo de produto é possuir um disco em cada lado no caso da

rolhas TT e apenas um disco para as rolhas “0+1”. Os discos utilizados neste processo são armazenados em silos que são descarregados em cada uma das máquinas de Colagem dependendo das necessidades das mesmas. Os discos provêm da Amorim Florestal, empresa do grupo Amorim localizada em Ponte de Sor, e chegam entre uma ou duas vezes por semana conforme o nível de *stock* de cada classe de discos existente na semana anterior.

Existem duas linhas de máquinas de Colagem. A linha 1 é constituída por 9 máquinas do modelo “2k” e 2 máquinas do modelo “1k” que estão preparadas para colar rolhas “0+1”. A segunda linha do processo tem 8 máquinas do modelo “1k” que, como se verifica na *Figura 4.15*, colam os discos com os corpos na vertical e possuem aproximadamente metade da capacidade das máquinas do modelo “2k” (*Figura 4.16*) que colam os discos nos corpos com a posição horizontal.



**Figura 4.15 - Máquina de colar "1k"**



**Figura 4.16 - Máquina de colar "2k"**

Todas máquinas possuem um sistema de roldanas interno que permite que as rolhas circulem dentro de um forno na própria máquina durante cerca de 15 minutos de modo a secar a cola entre os corpos e os discos. Devido ao aquecimento gerado nos fornos, evita-se que sigam para os processos seguintes do sistema defeitos originados por rolhas com discos descolados.

Após este processo, as rolhas ficam armazenadas em silos distintos associados a cada máquina de colar. Na *Figura 4.17* é possível observar a organização das duas linhas de Colagem:



**Figura 4.17 - Linhas de Colagem**

**Retificação** – Este processo também é conhecido por acabamentos mecânicos, pois é aqui que a rolha ganha a sua configuração final. As máquinas neste processo realizam duas atividades

diferentes. A primeira é o Ponçamento onde as rolhas circulam entre duas mós que deixam polidas lateralmente até ganhar o diâmetro da especificação. Normalmente o diâmetro mais comum das rolhas TT processadas à primeira é de 23,5 mm. As rolhas com defeitos são reprocessadas neste processo e o seu diâmetro é reduzido para 23,4 ou para 23 milímetros de modo a eliminar os defeitos laterais. A segunda atividade do processo, representada na *Figura 4.18*, é o Topejamento onde os topos dos discos são cortados até possuírem o comprimento da especificação. Normalmente os comprimentos mais comuns são 44 ou 39 mm. Existe um *buffer* intermediário entre as duas atividades pois apresentam cadências diferentes e assim é evitado que hajam paragens na segunda atividade caso a cadência da primeira encontre-se menor.



**Figura 4.18 - Máquina que realiza o processo de Topejamento da Retificação**

Os silos que abastecem as máquinas funcionam através de um controlador que transporta as rolhas com recurso a uma passadeira rolante. O material é descarregado das máquinas em contentores mais pequenos designados por paloxes, pois apenas estes tem dimensão suficiente para abastecer o processo de Lavação. Na *Figura 4.19* é possível observar como se encontra organizada a Retificação:



**Figura 4.19 - Linha de Retificação**

**Lavação** – Praticamente todas as rolhas que passam pelo sistema produtivo necessitam de ser processadas na Lavação, à exceção do cliente fazer um pedido especial para que o produto não seja lavado. Dependendo do tipo de lavação é feita uma mistura de agentes branqueadores e desinfetantes com água e consoante o programa definido tem um tempo de atividade diferente. Caso seja necessário, dependendo da existência de humidade ou não, existe um programa de 10 minutos de secagem. Na *Figura 4.20* encontra-se representada uma das máquinas do processo:





**Figura 4.20 - Máquinas de Lavação**

Nas seis máquinas existentes de lavação, conforme for encomendado, realizam-se três tipos diferentes de lavações cujo padrão pode ser observado na *Figura 4.21*. A lavação mais comum é designada por cL2000 que é a mais morosa e deixa as rolhas com aspecto mais branco, de seguida é a lavação de cerveja que faz com que as rolhas tenham aparência mais escura e por último é a lavação cL0 que é mais simples em termos de produtos usados e é menos demorada que as outras duas.



**Figura 4.21 - Padrão com os três tipos de lavações existentes**

**Escolha** – Qualquer produto obrigatoriamente tem de ser processado neste processo. Possui dois tipos de atividade: Escolha Eletrónica (EE) caso seja realizada em máquinas que escolhem automaticamente as rolhas e Escolha Manual (EM) quando as rolhas são escolhidas em tapetes onde operadores separam as rolhas manualmente.

Esta é a atividade mais complexa de todo o sistema produtivo e, como será demonstrado no subcapítulo 5.1 da presente dissertação, este processo é a restrição atual do sistema. Os operadores mais especializados e experientes encontram-se neste processo, pois qualquer erro na escolha de rolhas pode provocar uma reclamação por parte dos clientes e afetar a boa imagem da empresa no mercado ou em sentido contrário uma perda de margem no caso de serem escolhidas rolhas de classe visual superior e separadas como pertencentes a uma classe inferior que possuem um preço unitário menor.

Existem 15 máquinas que se dedicam à escolha das rolhas TT e “0+1”. Na *Figura 4.22* é possível observar as primeiras onze máquinas que pertencem ao modelo S530. As últimas quatro são do modelo S430, também conhecidas por máquinas “em estrela”, que possuem maior capacidade produtiva que as outras 11 máquinas.



**Figura 4.22 - Máquinas de Escolha S530**

Os tapetes de Escolha Manual, tal como se encontra na *Figura 4.23*, são apenas utilizados no caso de ser necessário confirmar a escolha feita pela máquina EE. Pode também ocorrer se o cliente de um determinado produto for mais exigente, se forem detetados demasiados defeitos num lote ou se forem escolhidas rolhas da categoria mais elevada (AA). Os tapetes EM praticamente já não são utilizados devido à melhoria da eficácia de escolha das máquinas EE. Quando são utilizados é importante que se utilize boa iluminação, porque a fraca iluminação afeta a eficácia da escolha e a saúde visual dos operadores.



**Figura 4.23 - Tapete de Escolha Manual**

Em cada máquina de Escolha Eletrónica, sempre que é colocado um novo cesto de rolhas para escolher, é feito um controlo, como é observado na *Figura 5.24*, sendo retirada uma amostra de 50 rolhas do produto que a máquina escolheu como conforme. De seguida, um operador especializado, separa as rolhas com a face pior voltada para cima e compara com um padrão predefinido da classe escolhida. Caso a amostra se encontre com aparência pior que o padrão, então o cesto com o produto tem de ser processado novamente e a máquina afinada, ocorrendo aqui o primeiro refluxo do sistema também designado por repassagem. O produto volta a ser escolhido e ocupa de novo as máquinas de EE.



**Figura 4.24 - Operadora comparando rolhas da amostra com o padrão da classe escolhida**

É notável que ocorrem maiores desperdícios no reprocessamento de produto, pois além de ser necessário abastecer novamente as máquinas, é consumido tempo em afinações por parte dos operadores.

As máquinas EE possuem 4 saídas possíveis de visualizar na *Figura 4.25*. A primeira saída é a da “Classe” onde devem apenas sair as rolhas que pertencem à classe visual a ser escolhida e que segue diretamente para embalar. A segunda saída é denominada de “Classe Fraca” onde apenas devem estar presentes as rolhas que apresentam uma classe visual inferior à classe escolhida e que serão repassadas juntamente com as rolhas da classe inferior.



**Figura 4.25 - Saídas das máquinas de Escolha Eletrônica**

Outra saída das máquinas EE é a da “Apara”, onde apenas devem estar os defeitos considerados críticos, ou seja, sem possível aproveitamento para o fabrico de rolhas e que saem do sistema como Aparas. Por fim, a última saída é a dos “Defeitos” destinada a defeitos possíveis de corrigir. Na *Figura 4.26* encontra-se o operador a descarregar as alcofas com defeitos e a colocar em cestos de Produto Não-Conforme (PNC). Estes cestos quando se encontram ocupados são transportados para o processo da Retificação onde se reduz o diâmetro do produto de modo a ser possível aproveitar as mesmas rolhas com a eliminação dos defeitos laterais. Este é o último refluxo que existe no sistema e vai exigir que esse PNC volte a ocupar novamente os processos de Retificação, Lavação e a Escolha Eletrônica.



**Figura 4.26 - Operador a descarregar alcofa de defeitos em cesto de material não-conforme**

A existência de defeitos representa uma das maiores perdas para o sistema tanto em termos produtivos como em termos monetários. O PNC, além de ocupar novamente os outros processos, necessita de ser processado duas vezes na EE de modo a garantir que não passem defeitos para a saída “Classe” que seguirá para a Embalagem.

A margem de lucros dos produtos depende do que é decidido na Escolha, sendo aqui particularmente importante a fiabilidade das máquinas e a eficácia dos operadores; bem como, o controlo da qualidade do produto em curso de modo a não serem arrastados no sistema produtivo defeitos ou produtos fora da especificação sobrecarregando desnecessariamente o processo produtivo.

Na Figura 4.27 é possível entender, de forma mais detalhada, como circula o fluxo de material em redor da Escolha Eletrónica:

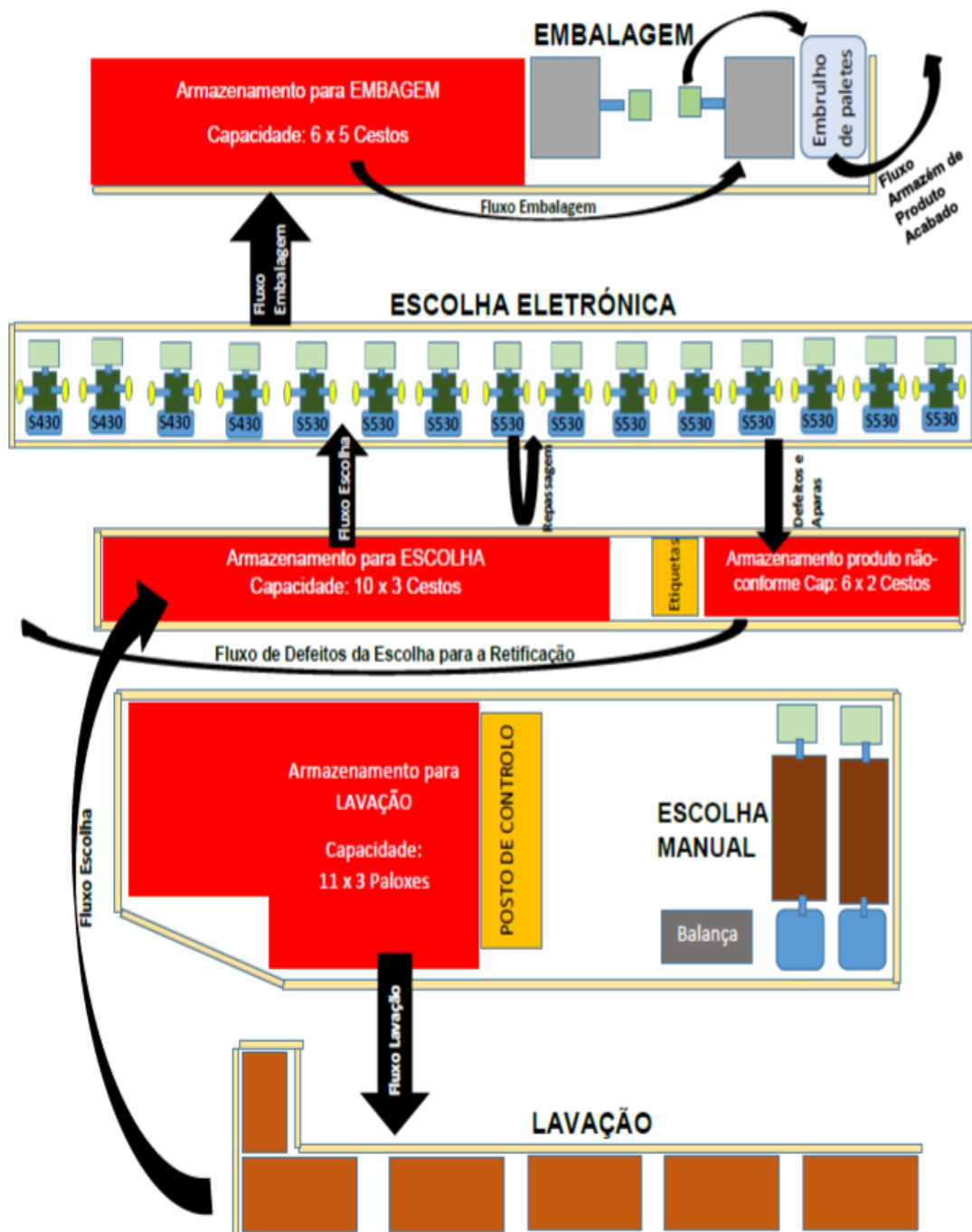


Figura 4.27 – Layout pormenorizado com fluxos na secção da Escolha

**Embalagem** - Para facilitar o transporte logístico, as rolhas neste processo são embaladas em paletes constituídas por 12 sacas com capacidade de 5.000 rolhas. As sacas são empilhadas e filmadas com plástico retráctil numa máquina adjacente ao processo. As paletes são posteriormente etiquetadas e a informação sobre o produto, como o lote do material e o destinatário, é inserida no sistema informático.

O operador logístico da secção, com recurso ao empilhador, transporta as paletes e arruma no Armazém de Produto Acabado. A partir do armazém o transporte é feito, para o cliente final ou para centros de distribuição, por meio rodoviário.

### 4.3.3. Características e funcionamento do sistema

O sistema produtivo funciona 24 horas diárias interruptamente de segunda a sexta-feira, embora em caso de necessidade poder-se recorrer aos sábados em regime de horário extra complementar. O trabalho está dividido em três turnos horários: o turno 1 opera desde as 00h00 até às 8h00, o segundo turno inicia às 8h00 até às 16h00 e o turno 3 das 16h00 até às 24h00. Cada turno possui um chefe de turno que responde à chefe de secção TT.

A empresa possui certificado de rastreabilidade, o que implica que em cada rolha produzida é possível saber o dia e em máquina pelo qual o material foi processado no sistema. É importante saber esta informação, pois em caso de reclamação ou de ser encontrado um defeito grave, poder-se assim rastrear a origem do problema. Cada lote de produto tem sempre uma folha de rastreabilidade junto com o respetivo produto. Esse é um dos modos de como é feita a transmissão de informação ao longo do sistema.

O sistema em estudo apresenta características de um sistema logístico *Pull* com produção *Just In Time*, logo o plano diretor de produção é feito com base nas necessidades. Apenas se tenta produzir as quantidades certas e no momento certo de modo a cumprir os pedidos. Ocorrem normalmente sobras, pois a produção é sempre planeada em excesso devido à variabilidade dos processos. As sobras são armazenadas até existir uma encomenda com o mesmo produto.

Existem ao longo do sistema em alguns processos quadros *Kanban* de produção preenchidos semanalmente com o lote de produto que deve ser produzido. Na *Figura 4.28* está representado o quadro *Kanban* de produção atualmente existente no processo da Lavação.



Figura 4.28 - Quadro *Kanban* de produção no processo da Lavação



Existem vários pontos do sistema onde é feito o controlo do processo de modo a assegurar que o material se encontra em conformidade, isto quer dizer, que está sobre controlo de forma a evitar que haja misturas de produto, deformação do material, húmida elevada, material contaminado ou qualquer tipo de defeito crítico. Um bom controlo do processo assegura a qualidade do produto.

Existem várias formas de circulação do material em curso ao longo do sistema. Podem ser utilizados contentores chamados cestos, tal como se encontra na *Figura 4.29*. O produto pode ser armazenado em silos, como visualizado na *Figura 4.30*, que possuem um volume correspondente a 3 cestos. O transporte pode ser feito em paloxes, como o *Figura 4.31*, que possuem metade da capacidade de um cesto. No transporte de defeitos ou de Classe Abaixo na Escolha Eletrónica são utilizadas alcofas, como a encontrada na *Figura 4.32*:



**Figura 4.29 - Exemplo de um Cesto de Produto**



**Figura 4.30 - Exemplo de um Silo de Produto**



**Figura 4.31 - Exemplo de um Paloxe**



**Figura 4.32 - Exemplo de uma Alcofa**

A secção TT encontra-se subdividida em três secções internas menores nas quais existe um responsável por garantir o bom funcionamento da mesma. A primeira secção é designada por “Extrusão” que contempla os processos da Extrusão e do Topejamento; a segunda é a “Colagem” de onde fazem parte o próprio processo de Colagem e a Retificação; a terceira e última secção é a da “Escolha” que é constituída pela Lavação, Escolha Eletrónica e Manual e pela Embalagem.

O sistema atualmente encontra-se explorado segundo um programa de melhoria contínua denominado por “Cork +”. A consultora *KAIZEN Institute* em conciliação com a direção e a equipa de engenharia da UI Equipar implementaram um sistema de melhoria contínua orientado sobre a

metodologia *Lean*. Uma das medidas concebidas foi a criação de um quadro *Kaizen* em cada secção, como representado na *Figura 4.33*, onde os operadores se reúnem durante 5 minutos diariamente. Esta reunião denomina-se de “*Kaizen* Diário” e é utilizada como um meio de transmissão de informação entre operadores. Na reunião discute-se sobre Produção e Qualidade, os operadores tem acesso a indicadores atualizados diariamente ou semanalmente e são referidas as ações de melhoria contínua que vão sendo tomadas no sistema produtivo.



**Figura 4.33 - Quadro *Kaizen* da secção “Escolha”**

- **Considerações finais**

O sistema produtivo em estudo corresponde à secção TT, responsável pela produção das rolhas técnicas TT e “0+1”, da UI Equipar que está integrada numa empresa forte e com resultados bem consolidados. Dentro da empresa existe sempre uma grande exigência e responsabilidade em qualquer projeto implementado. Todas as alterações introduzidas no sistema poderão trazer consequências significativas em termos de resultados devido à elevada capacidade produtiva e ao mercado global que abrange.

A abordagem a seguir no teste do modelo TLS proposto terá de ser adaptada ao caso de estudo anteriormente exposto e deverá ser integrada no projeto de melhoria contínua “*Cork +*” já existente, com respeito às normas da empresa. Embora os sistemas dentro da UI já tenham sido bem explorados pela consultora de renome *KAIZEN Institute*, existe sempre espaço para novas melhorias. Espera-se que se possa obter ganhos positivos dentro do sistema e consequentemente para a empresa, pois o intuito do teste do modelo TLS para além de académico, também será beneficiar o grupo Corticeira Amorim.

O foco de um projeto TLS de melhoria contínua é principalmente na melhoria da restrição, embora seja esperado que os restantes processos do sistema também sejam melhorados pois o reforço do “elo mais fraco” de uma corrente beneficiará consequentemente toda a cadeia.





# 5

## Implementação do modelo TLS proposto no sistema em estudo

Na *Tabela 5.1* é descrito quais foram as ferramentas e lógicas utilizadas em cada fase do modelo e o impacto esperado no sistema em estudo:

Tabela 5.1 - Ferramentas, lógicas e impacto esperado em cada fase do modelo proposto		
FASE	Ferramentas e Lógicas utilizadas	Impacto Esperado
<b>1) Caracterizar sistema e identificar restrição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagrama de Processo</li> <li>- Medição das métricas de produção (capacidades nominais, eficiências e FTT)</li> <li>- Determinação do <i>Lead Time</i></li> <li>- Construção de um VSM e análise do <i>Current State</i></li> <li>- Simulação real no sistema</li> <li>- Análise e mobilização na restrição</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caracterização do estado inicial e do valor do sistema</li> <li>- Determinação dos pontos onde há acumulação de inventário</li> <li>- Identificação e foco na restrição</li> </ul>
<b>2a) Identificar oportunidades de melhoria LSS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observar <i>Gemba</i></li> <li>- Diagrama Esparguete</li> <li>- Detecção de oportunidades “5S” e falhas na gestão visual</li> <li>- Necessidades de <i>Standard Work</i></li> <li>- Comparação do <i>Current State</i> vs <i>Future State</i></li> <li>- Diagrama de Pareto antes e depois da restrição</li> <li>- Diagrama Causa-Efeito (Ishikawa)</li> <li>- Impacto da redução de defeitos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caracterização e identificação dos desperdícios e da variabilidade</li> <li>- Verificação da existência de oportunidades de melhoria <i>Lean</i> e 6-Sigma</li> <li>- Determinação de onde é necessário atuar no sistema</li> </ul>
<b>2b) Atuar com LSS (Explorar restrição)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cálculo do OEE e criação novos indicadores</li> <li>- Melhoria nos “5S” e gestão visual na secção e criação de fichas de melhoria</li> <li>- Ciclo Mizumashi (comboio logístico)</li> <li>- Eliminação de etapa do processo que não cria valor (aumento de produtividade)</li> <li>- Organização do trabalho e criação de normas <i>Standard Work</i></li> <li>- Melhorias na secção e fichas de melhoria</li> <li>- Medição de paragens e avarias</li> <li>- Formação de Operadores</li> <li>- SPC (cartas de controlo e capacidade do processo)</li> <li>- DPMO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução/eliminação dos desperdícios e da variabilidade com <i>Lean</i> e 6-Sigma</li> </ul>
<b>3) Subordinar sistema à restrição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar se é implementado um sistema <i>Pull</i></li> <li>- Verificar os <i>Kanban</i> são dimensionados de modo a cumprir o funcionamento DBR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema submetido ao ritmo da restrição</li> </ul>
<b>4) Reavaliar restrição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparar desempenho atual da restrição com o <i>Takt Time</i> do sistema</li> <li>- Atualização do VSM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo deixar de ser a restrição do sistema</li> <li>- Determinação da nova restrição</li> </ul>
<b>5) Elevar restrição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudo económico/financeiro dos investimentos possíveis que permitem aumentar o desempenho (não foi necessário recorrer no sistema em estudo atual)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investimento no processo para elevar o desempenho e deixar de ser a restrição</li> </ul>

## 5.1. Caracterizar sistema e identificar restrição

O início da caracterização do sistema começou a ser exposto previamente no subcapítulo 4.3 da presente dissertação, onde foi identificado e caracterizado o sistema onde será aplicada a metodologia de melhoria contínua. Foi representado o diagrama de processo atual, detalhado o funcionamento do sistema e o dos processos que o compõem. Ao longo do presente subcapítulo será apresentada a continuação da caracterização do sistema e será identificada e analisada a atual restrição.

### 5.1.1. Métricas de produção e análise global das métricas do sistema

A primeira medida de desempenho revelante para compreender o sistema é determinar quais são as capacidades nominais existentes nos processos existentes. Para a determinação das capacidades nominais foi necessário, em alguns processos, recorrer a uma atividade de cronometragem de modo a obter dados objetivos e fiáveis atuais da capacidade de cada máquina.

Na cronometragem, segundo Deming (1966), a distribuição dos tempos observados para um dado elemento de atividade é uma distribuição normal ( $TMO, \sigma$ ). No caso de o número retirado de amostras tiver dimensão inferior a 30, situação única presente no caso de estudo, deve ser utilizada a distribuição *t-Student*. A *Fórmula 5.1*, segundo o autor é utilizada para calcular o Erro Absoluto no tempo cronometrado,  $S$ :

$$S = \frac{t_{p,n-1} * \sigma}{\sqrt{n}} \quad (5.1)$$

onde  $n$  = número de observações;

$t_{p,n-1}$  = valor da distribuição *t-Student* para  $n-1$  graus de liberdade e  $1-p$  grau de confiança

$\sigma$  = desvio padrão do processo

Na *Tabela 5.2* encontram-se valores da distribuição *t-Student* bi-caudal para uma precisão de 0,05 (5%) e 0,01 (1%). A tabela seguinte é um excerto de uma tabela completa onde apenas se encontram os graus de liberdade de 1 a 3, pois para o caso atual não foi necessário utilizar mais valores sendo que o número máximo de observações recolhidas foram 4 o que corresponde a 3 graus de liberdade.

**Tabela 5.2 - Distribuição *t-Student* bi-caudal**  
[Adaptado: Bussab & Morettin (2013)]

Graus de liberdade ( $n-1$ )	0,05 (5%)	0,01 (1%)
1	12,706	63,657
2	4,303	9,925
3	3,182	5,541

No cálculo do Erro Relativo no tempo cronometrado,  $s$ , a *Fórmula 5.2* é utilizada, sendo este valor relevante ao ser comparado com a precisão que se pretende para a atividade de cronometragem:

$$s = \frac{S}{TMO} \quad (5.2)$$

onde TMO = Tempo Médio Observado

O número de observações mínimo a realizar para que a cronometragem seja válida, de acordo com Deming (1966) é o valor obtido na *Fórmula 5.3*. O valor obtido na fórmula seguinte deve ser arredondado por excesso pois o número de observações tem de ser um valor inteiro:

$$N = \frac{t_{p,n-1} * \sigma}{(s * TMO)^2} \quad (5.3)$$

O Erro relativo (s) pretendido, em função da precisão da cronometragem, é dado por:

- Alta precisão:  $s = 1\% = 0,01$
- Média precisão:  $s = 5\% = 0,05$
- Baixa precisão:  $s = 10\% = 0,1$

#### • Capacidade Nominal da Extrusão

Neste primeiro processo do sistema existiu dificuldade em medir a capacidade nominal devida à incerteza provocada pela elevada variabilidade e à dificuldade de medição, logo não foi possível recorrer à cronometragem. Foram então utilizados os dados reais que a equipa de controlo de processo recolheu na medição do crescimento do bastão aglomerado de cortiça ao longo de 2014 até o mês de Outubro em cada um dos três turnos diários. Na *Tabela 5.3* encontram-se os valores médios de crescimento em milímetros de bastão por minuto de atividade em cada linha:

**Tabela 5.3 – Crescimento médio do bastão em cada linha de Extrusão**

Linha de Extrusão	Média do crescimento (mm/minuto)
1	15.920
2	22.920
3	23.760
4	23.060

Como foi referido na caracterização do processo presente no subcapítulo 4.3, as linhas 1, 2 e 3 originam corpos com 31,2, 36,2 e 42,5 milímetros e a linha 4 apenas produz corpos com 37 mm. Através dos registos de produção de 2014, sabe-se que para as linhas 1, 2 e 3 a produção percentual de corpos de 31,2 mm é de 15,9%, a representação mais significativa é dos corpos de 36,2 mm com 76,7% do total produzido e os corpos de 42,5 apenas representam 7,4%. Na *Tabela 5.4* encontra-se calculada a capacidade das linhas 1, 2 e 3 de Extrusão para cada calibre criado e na última coluna encontra-se a capacidade teórica de cada linha sendo uma média ponderada tendo em conta a produção percentual respetiva de cada calibre. Para a linha 4 de Extrusão, o cálculo da capacidade é mais simples pois apenas são originados corpos com 37 milímetros de comprimento.

**Tabela 5.4 – Capacidade nominal teórica da Extrusão**

<b>Linha</b>	<b>Crescimento bastão (mm/min)</b>	<b>Capacidade 31,2 mm (rolhas/hora)</b>	<b>Capacidade 36,2 mm (rolhas/hora)</b>	<b>Capacidade 42,5 mm (rolhas/hora)</b>	<b>Capacidade nominal teórica (rolhas/hora)</b>
<b>1</b>	15.920	30.615,4	26.386,8	22.475,2	26.830,4
<b>2</b>	22.920	44.076,9	37.989,0	32.357,6	38.627,6
<b>3</b>	23.760	45.692,4	39.381,2	33.543,6	40.043,3
<b>Linha</b>	<b>Crescimento bastão (mm/min)</b>	<b>Capacidade 37 mm (rolhas/hora)</b>			<b>Capacidade nominal teórica (rolhas/hora)</b>
<b>4</b>	23.060	37.394,6			37.394,6

A capacidade nominal teórica da Extrusão das linhas 1, 2 e 3 é dada pela soma das três linhas o que resulta em 105.501,3 rolhas/h, enquanto a linha 4 possui uma capacidade nominal teórica de 37.394,6 rolhas/h.

- **Capacidade Nominal do Topejamento**

Apenas os corpos produzidos na linha 4 da Extrusão necessitam de ser topejados. Em primeiro lugar foi verificado se os contadores eletrônicos que se encontravam calibrados em todas as máquinas do processo, comparando o número de rolhas real na saída de cada máquina com o valor apresentado no contador. Como todos os contadores se encontravam calibrados, foi assim simplificada a atividade de contagem do número de rolhas processadas por minuto em cada máquina.

A atividade de cronometragem para este processo consistiu em 3 observações por cada máquina até chegar a uma produção alvo de 500 rolhas. Na *Tabela 5.5* encontra-se o valor médio das 3 observações, é verificado se para uma precisão média, ou seja  $s = 5\%$ , o número de observações realizadas foi suficiente e é dada a capacidade média da máquina:

**Tabela 5.5 – Resultado da cronometragem no Topejamento**

<b>Máquina</b>	<b>Valor médio observado (min.)</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Raiz do nº de observações</b>	<b>t-Student para 95% de confiança</b>	<b>Erro absoluto (S)</b>	<b>% Erro relativo (s)</b>	<b>Nº de observações mínimo</b>	<b>Capacidade média (rolhas/h)</b>
<b>1</b>	1,96	0,0255	1,7321	4,303	0,0632	3,23	<b>2</b>	15.342,6
<b>2</b>	2,02	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,18	<b>1</b>	14.835,4
<b>3</b>	2,09	0,0255	1,7321	4,303	0,0632	3,03	<b>2</b>	14.363,1
<b>4</b>	2,16	0,0255	1,7321	4,303	0,0632	2,93	<b>2</b>	13.883,0
<b>5</b>	2,06	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,16	<b>1</b>	14.555,5
<b>6</b>	2,04	0,0255	1,7321	4,303	0,0632	3,10	<b>2</b>	14.715,4

Com base nos resultados da tabela anterior, a capacidade nominal do processo é 87.695,0 rolhas/h, resultante da soma das capacidades nominais de cada máquina.

- **Capacidade Nominal da Colagem**

A Colagem possui dois modelos de máquinas que apresentam capacidades diferentes. Na atividade de cronometragem para este processo foram feitas 3 observações por cada máquina até chegar a uma produção alvo de 150 rolhas. Na *Tabela 5.6*, além de ser apresentado o valor médio obtido nas observações, é calculado se o número de observações é estatisticamente suficiente para média precisão de cronometragem e é dada a capacidade média de cada máquina de Colagem.

**Tabela 5.6 - Resultado da cronometragem na Colagem**

Máquina	Valor médio observado (min.)	Desvio Padrão	Raiz do nº de observações	t-Student para 95% de confiança	Erro absoluto (S)	% Erro relativo (s)	Nº de observações mínimo	Capacidade média (rolhas/h)
1.1	0,81	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	2,97	2	11.173,5
1.2	0,82	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	2,91	2	10.946,9
1.3	0,81	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	2,95	2	11.096,9
1.4	0,73	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	3,28	2	12.367,9
1.5	0,85	0,0167	1,7321	4,303	0,0414	4,87	3	10.591,0
1.6	0,72	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	3,31	2	12.463,0
1.7	0,73	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	3,28	2	12.367,9
1.8	0,74	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	3,24	2	12.181,8
1.9	0,74	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	3,21	2	12.090,9
1.10	1,57	0,0192	1,7321	4,303	0,0478	3,04	2	5.725,0
1.11	1,61	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,49	1	5.605,7
2.1	1,57	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,52	1	5.724,5
2.2	1,54	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,55	1	5.848,5
2.3	1,54	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,55	1	5.848,5
2.4	1,56	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,54	1	5.785,9
2.5	1,53	0,0167	1,7321	4,303	0,0414	2,70	1	5.870,0
2.6	1,48	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,62	1	6.090,4
2.7	1,47	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,62	1	6.113,4
2.8	1,46	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,64	1	6.159,9

A capacidade nominal obtida para o conjunto dos dois modelos de máquinas nas duas linhas de Colagem é 164.051,6 rolhas/h.

- **Capacidade Nominal da Retificação**

Neste processo o produto é processado em duas atividades distintas, logo foi necessário proceder à cronometragem de cada atividade separadamente e foi assumido que a capacidade de uma máquina é a capacidade da atividade com menor cadência da mesma máquina.

A primeira atividade cronometrada foi o Ponçamento. Como não existe contador eletrônico nas máquinas 1 a 14, realizou-se a cronometragem para 3 observações mas em vez de definir uma produção alvo pois sem contador não era possível acompanhar a produção, definiu-se um tempo alvo de 45 segundos em cada observação e o valor médio observado então encontra-se em número

de rolhas. Apenas as máquinas 15 e 16 possuem contador associado logo aqui foi possível cronometrar pra uma produção alvo de 250 rolhas. Na *Tabela 5.7* encontra-se os resultados obtidos da atividade de cronometragem para a atividade de Ponçamento na Retificação:

**Tabela 5.7 - Resultado da cronometragem na atividade de Ponçamento da Retificação**

Máquina	Valor médio observado	Desvio Padrão	Raiz do nº de observações	t-Student para 95% de confiança	Erro absoluto (S)	% Erro relativo (s)	Nº de observações mínimo	Capacidade média (rolhas/h)
1	63,00	1,0000	1,7321	4,303	2,4843	3,94	2	10.080,0
2	61,00	1,0000	1,7321	4,303	2,4843	4,07	2	9.760,0
3	74,00	1,0000	1,7321	4,303	2,4843	3,36	2	11.840,0
4	76,00	1,0000	1,7321	4,303	2,4843	3,27	2	12.160,0
5	82,00	1,0000	1,7321	4,303	2,4843	3,03	2	13.120,0
6	65,33	1,1547	1,7321	4,303	2,8687	4,39	3	10.453,3
7	57,33	0,5774	1,7321	4,303	1,4343	2,50	1	9.173,3
8	70,00	1,0000	1,7321	4,303	2,4843	3,55	2	11.200,0
9	60,67	0,5774	1,7321	4,303	1,4343	2,36	1	9.706,7
10	79,33	1,5275	1,7321	4,303	3,7949	4,78	3	12.693,3
11	65,67	1,1547	1,7321	4,303	2,8687	4,37	3	10.506,7
12	76,33	1,5275	1,7321	4,303	3,7949	4,97	3	12.213,3
13	61,00	1,0000	1,7321	4,303	2,4843	4,07	2	9.760,0
14	78,33	0,5774	1,7321	4,303	1,4343	1,83	1	12.533,3
15	2,21	0,0347	1,7321	4,303	0,0862	3,90	2	13.570,1
16	2,04	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,17	1	14.674,1

Na atividade de Topejamento existiam contadores eletrônicos, os quais se verificou que se encontravam calibrados. De seguida fez-se 3 observações para uma produção alvo de 500 rolhas. Na *Tabela 5.8*, verificou-se se o número observações realizadas são estatisticamente suficientes para validar o trabalho de cronometragem e calculou-se a capacidade média de cada máquina:

**Tabela 5.8 - Resultado da cronometragem na atividade de Topejamento da Retificação**

Máquina	Valor médio observado (min.)	Desvio Padrão	Raiz do nº de observações	t-Student para 95% de confiança	Erro absoluto (S)	% Erro relativo (s)	Nº de observações mínimo	Capacidade média (rolhas/h)
1	2,87	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,83	1	10.445,0
2	2,25	0,0167	1,7321	4,303	0,0414	1,84	1	11.368,3
3	2,72	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,88	1	11.020,5
4	2,71	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,88	1	11.065,7
5	2,73	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,88	1	10.998,1
6	2,63	0,0616	2,0000	3,182	0,0980	3,73	3	11.433,3
7	2,29	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,04	1	13.075,2
8	2,74	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,87	1	10.953,4
9	2,74	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,87	1	10.953,4
10	2,82	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,85	1	10.630,0
11	2,79	0,0255	1,7321	4,303	0,0632	2,27	1	10.757,6
12	2,77	0,0167	1,7321	4,303	0,0414	1,50	1	10.843,6
13	2,75	0,0000	1,7321	4,303	0,0000	0,00	0	10.909,1
14	2,19	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,09	1	13.705,8
15	2,39	0,0255	1,7321	4,303	0,0632	2,65	1	12.559,1
16	2,41	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,99	1	12.471,3

Para a máquina 6 foi necessário realizar uma quarta observação porque para uma precisão média, tal como foi anteriormente utilizada, o número mínimo de observações exigido eram 4. Após realizar uma quarta observação, como se observa na tabela anterior o número mínimo de observações passou a ser 3, valor suficiente para validar a cronometragem.

A atividade com menor capacidade produtiva é assumida como a que restringe a capacidade global da máquina. Por exemplo, num caso em que a atividade de Ponçamento apenas conseguir dar vazão a 10.000 rolhas numa hora e o Topejamento na mesma máquina consegue processar 12.000 rolhas por hora, então, como o material necessita ser processado pelas duas atividades sequencialmente neste caso a capacidade nominal da máquina é a do processo que apresenta menor capacidade, ou seja, do Ponçamento. A *Tabela 5.9* apresenta os valores comparativos das capacidades de cada uma das atividades em cada máquina e caso a diferença seja positiva, a segunda atividade é a que restringe o processo e vice-versa:

**Tabela 5.9 - Comparação das capacidades dos processos da Retificação**

Máquina	Capacidade Topejamento	Capacidade Ponçamento	Diferença de capacidades	Atividade que restringe
1	10.445,0	10.080,0	365,0	PONÇAMENTO
2	11.368,3	9.760,0	1.608,3	PONÇAMENTO
3	11.020,5	11.840,0	-819,5	TOPEJAMENTO
4	11.065,7	12.160,0	-1.094,3	TOPEJAMENTO
5	10.998,1	13.120,0	-2.121,9	TOPEJAMENTO
6	11.433,3	10.453,3	980,0	PONÇAMENTO
7	13.075,2	9.173,3	3.901,9	PONÇAMENTO
8	10.953,4	11.200,0	-246,6	TOPEJAMENTO
9	10.953,4	9.706,7	1.246,8	PONÇAMENTO
10	10.630,0	12.693,3	-2.063,3	TOPEJAMENTO
11	10.757,6	10.506,7	250,9	PONÇAMENTO
12	10.843,6	12.213,3	-1.369,7	TOPEJAMENTO
13	10.909,1	9.760,0	1.149,1	PONÇAMENTO
14	13.705,8	12.533,3	1.172,4	PONÇAMENTO
15	12.559,1	13.570,1	-1.011,0	TOPEJAMENTO
16	12.471,3	14.674,1	-2.202,9	TOPEJAMENTO

O cálculo da capacidade nominal da Retificação é dado pela soma das capacidades das atividades que restringem o processo em cada máquina. Então a capacidade nominal da Retificação é de 172.515,0 rolhas/h.

- **Capacidade Nominal da Lavação**

A capacidade deste processo depende tipo de lavação realizada. Para conhecer o tempo de processamento de cada lavação, calculou-se a média das diferenças de tempo registado entre o início e o fim das lavações realizadas em 2014 até o mês de Outubro. Para a lavação cl2000, o tempo de processamento obtido foi 2h15, para a cerveja foi 1h50 e para a lavação cl0 foi 1h05. O tempo médio de carga e descarga das máquinas medido foi de aproximadamente 15 minutos e sabe-se que a capacidade em cada lavação das máquinas 1 a 5 é de 65.000 rolhas



e da máquina 6 apenas 45.000 rolhas. Na *Tabela 5.10* é calculada qual seria a capacidade horária obtida realizando apenas cada tipo de lavação:

**Tabela 5.10 – Capacidade horária média para cada Lavagem**

Tipo de Lavagem	Tempo médio de Lavagem	Tempo de Carga e Descarga	Capacidade das máquinas 1 a 5	Capacidade da máquina 6	Capacidade horária (rolhas/h)
cl2000	2h15	00h15	65.000	45.000	148.000,0
cerveja	1h50	00h15	65.000	45.000	177.600,0
cl0	1h05	00h15	65.000	45.000	277.500,0

Tal como realizado anteriormente para a Extrusão, foi calculada a produção representativa de cada tipo de lavagem em 2014. Chegou-se ao valor de representatividade de 74% para a lavagem cl2000, a lavagem cerveja representou 22% do número total lavagens realizadas e com menor representatividade foram as lavagens cl0 com apenas 4% do total anual. Assim é possível calcular a capacidade nominal da Lavagem através de uma média ponderada da capacidade de cada lavagem com a respetiva representatividade. Para o processo obteve-se uma capacidade nominal de 159.692,0 rolhas/h.

- **Capacidade Nominal da Escolha Eletrónica**

A atividade de cronometragem feita neste processo consistiu em realizar 3 observações em cada máquina para uma produção alvo de 500 rolhas. Na *Tabela 5.11* encontra-se o valor médio observado das 3 observações em cada máquina, é verificado se para uma precisão média o número de observações foi suficiente e a capacidade média obtida:

**Tabela 5.11 - Resultado da cronometragem na Escolha Eletrónica**

Máquina	Valor médio observado (min.)	Desvio Padrão	Raiz do nº de observações	t-Student para 95% de confiança	Erro absoluto (S)	% Erro relativo (s)	Nº de observações mínimo	Capacidade média (rolhas/h)
1	2,96	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,81	1	10.131,4
2	2,96	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,81	1	10.150,4
3	2,94	0,0419	1,7321	4,303	0,1042	3,55	2	10.209,3
4	2,97	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,80	1	10.093,5
5	2,94	0,0192	1,7321	4,303	0,0478	1,62	1	10.189,0
6	3,08	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,78	1	9.747,4
7	2,99	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,80	1	10.037,2
8	2,98	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,80	1	10.074,7
9	3,04	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,79	1	9.872,1
10	3,06	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,78	1	9.800,4
11	3,17	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,75	1	9.457,2
12	2,37	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,01	1	12.646,5
13	2,43	0,0255	1,7321	4,303	0,0632	2,61	1	12.357,9
14	2,41	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	0,99	1	12.471,3
15	2,39	0,0096	1,7321	4,303	0,0239	1,00	1	12.529,1



Para as primeiras 11 máquinas que pertencem ao modelo S530 obteve-se uma capacidade média por máquinas de 9.978,4 rolhas/h sendo inferior ao valor obtido para o modelo S430 que apresenta uma capacidade nominal 12.501,2 rolhas/h. Embora as máquinas do modelo S430 apresentem maior capacidade, verificou-se um maior número encravamento, logo em termos reais a diferença de capacidade não deverá ser muito substancial. Para o conjunto de todas as máquinas do processo obteve-se uma capacidade nominal de 159.767,4 rolhas/h.

- **Capacidade Nominal da Embalagem**

Ao contrário dos outros processos além do tempo de máquina, este processo possui um tempo de operador para as atividades de ensacamento, registo informático do lote e filmagem das paletes em plástico.

Com base no registo de produção da atividade foi obtido que um operador a trabalhar interruptamente durante uma hora embala 140.666,0 rolhas/h. Do valor anterior admitindo que durante um turno de 8h de trabalho, o operador ao retirar as pausas opera durante 7 horas, então a capacidade nominal real desta atividade é de 123.082,8 rolhas/h em uma máquina de embalar.

Existem disponíveis duas máquinas que realizam a atividade, mas apenas um dos três turnos possui duas máquinas a operar em simultâneo. Ao ter em conta que existe apenas um operador a ocupar a segunda máquina por dia em um só turno, então a capacidade nominal deste processo nestas circunstâncias é de 153.853,5 rolhas/h.

- **Resumo das capacidades nominais do sistema**

A Tabela 5.12 apresenta um resumo dos valores obtidos das capacidades nominais obtidas neste subcapítulo para todos os processos do sistema, ou seja, quanto deveria produzir cada processo em condições ideais sem contabilização das paragens:

**Tabela 5.12 – Resumo das capacidades nominais obtidas em cada processo do sistema**

Processo	Capacidade Nominal (rolhas/h)
Extrusão	$37.394,6 + 105.501,3 = 142.895,9$
Topejamento	87.695,0
Colagem	164.051,6
Retificação	172.515,0
Lavação	159.692,0
Escolha Eletrónica	159.767,4
Embalagem	153.853,5

- **Cálculo das Eficiências**

Existem diversos motivos os quais provocam paragens diferindo assim a produção real obtida em relação à ideal calculada, ou seja à capacidade nominal. Os fatores mais frequentemente encontrados que afetam a eficiência atual no sistema são:

- Problemas de máquina (Ex: avarias ou encravamentos devido a material defeituoso) que provocam aumento do tempo de ciclo e podem aumentar com o desgaste da máquina;

- Paragens por falta de material ou por decisão logística (planeadas);
- Falhas humanas (Ex: falhas no abastecimento das máquinas ou erro do operador).

Na situação inicial encontrada no sistema foi deparado que não existia a contabilização de paragens em nenhum processo e o único processo onde existia distinção e que era possível mensurar o produto conforme do não-conforme era na Escolha Eletrónica. Logo as únicas métricas de produção possíveis de calcular inicialmente são a Eficiência em todos os processos do sistema e na Escolha o FTT. Decidiu-se acrescentar posteriormente, ao registo diário de produção, a contabilização das paragens em todos os processos para que fosse possível calcular de maneira mais precisa no futuro outras métricas de produção e melhorar o conhecimento sobre os processos do sistema.

Para o cálculo da Eficiência foram utilizados os dados existentes nos registos de produção de modo permitir que sejam quantificados os valores produzidos na realidade em cada processo no período de implementação da 1ª fase do modelo TLS proposto (Setembro e de Outubro de 2014).

Embora a secção TT opere durante 24 horas diárias, existem diferenças no tempo de operação produtiva em cada processo do sistema. O tempo não produtivo é diferente em quase todos os processos e normalmente é derivado a necessidades de limpeza distintos e a tempos de arranque de máquina diferentes.

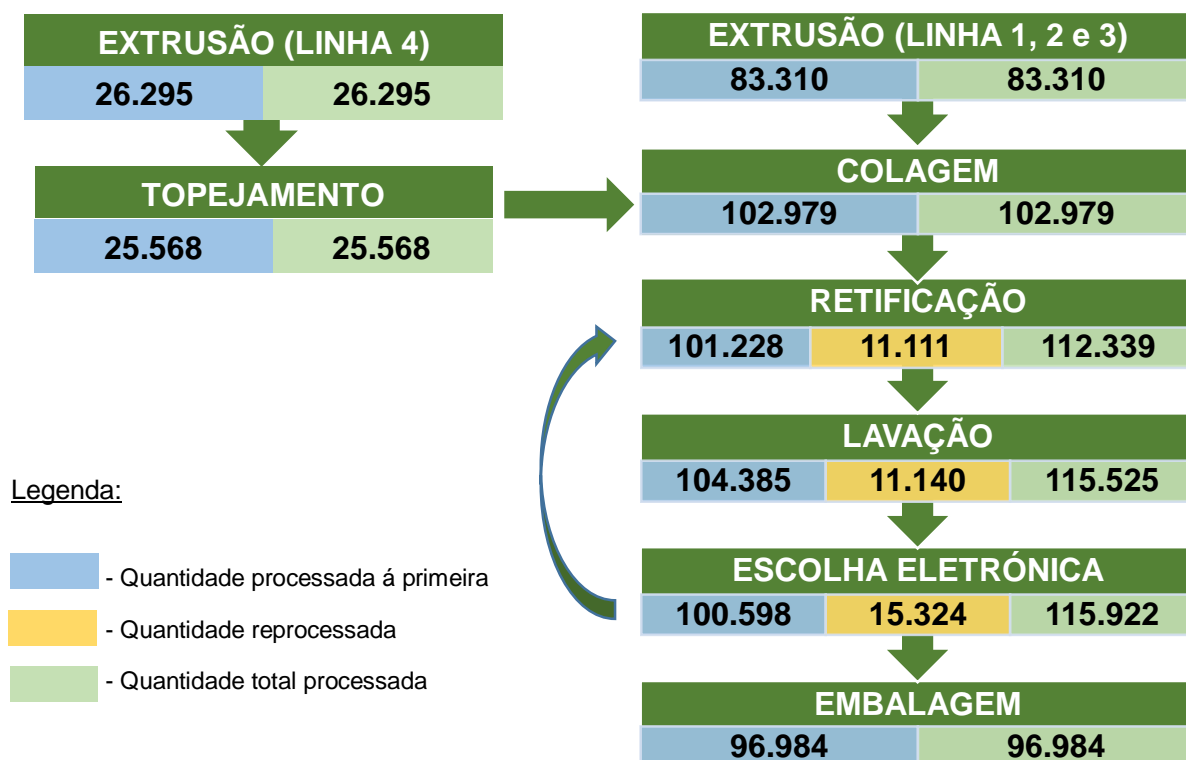
A *Tabela 5.13* tem representado para cada atividade o respetivo tempo de operação diário, o número de horas efetivamente trabalhadas em atividades de valor acrescentado no período compreendido entre 1 de Setembro e 31 de Outubro de 2014. O tempo de operação também pode ser denominado por *Uptime*.

**Tabela 5.13 - Horas Efetivas para trabalho produtivo em Setembro e Outubro de 2014**

Processo	Tempo de operação	Horas Efetivas trabalhadas
Extrusão	21,1 h/dia	949,5 h
Topejamento	15,5 h/dia	697,5 h
Colagem	21,4 h/dia	963,0 h
Retificação	23,5 h/dia	1.057,5 h
Lavação	23,2 h/dia	1044,0 h
Escolha Eletrónica	23,5 h/dia	1.057,5 h
Embalagem	21,0 h/dia	945,0 h

Através da *Figura 5.1* é possível saber qual foi a quantidade real, em milhares de rolhas, processada em cada processo durante horas efetivamente trabalhadas para trabalho produtivo nos meses de Setembro e Outubro de 2014. Para os processos em que o material em curso sofre reprocessamento é distinguida, na mesma figura, a quantidade que foi processada à primeira da quantidade de produto que necessitou de ser processado novamente. No processo da Escolha Eletrónica existe a separação do produto conforme do não-conforme, e aí o produto que não está em condições de seguir para embalar para o cliente é movimentado para a Retificação onde este é reprocessado. O valor médio do produto que necessita de ser reprocessado é aproximadamente

9% do total de rolhas processadas na Escolha Eletrónica e sensivelmente 1% do produto é considerado apara e sai do sistema.



**Figura 5.1- Quantidade processada (em milhares de rolhas) no sistema em Setembro e Outubro**

As quantidades processadas de um processo para o seguinte não são exatamente as mesmas, podendo ser causadas devido a diversos motivos:

- O registo pode ter erros de quantidade pois há processos, como a Extrusão e a Lavação, em que o operador tem de estimar visualmente através do volume de produto existente nos cestos ou paloxes a serem processados em cada máquina. Os operadores mais experientes conseguem distinguir melhor a quantidade existente dependente do calibre;
- Pode existir erros de registo desde as folhas de rastreabilidade até à base de dados que contem o Registo Geral;
- Existem perdas de material em cada processo que saem do sistema identificados como apara e não são contabilizados;
- O produto em curso não é processado por ordem FIFO. O material é puxado para o processo seguinte segundo as ordens existentes nos *Kanban* de produção, logo os inventários antes de cada posto sofrem variações diárias em conciliação com as variabilidades dos processos.

Para o cálculo da Eficiência, segundo Singh *et al.* (2013) utiliza-se a *Fórmula 5.4*. Os dados obtidos anteriormente neste subcapítulo contêm informação suficiente para que seja possível calcular de forma fiável esta métrica de produção para a situação inicial encontrada.

$$\text{Eficiência} = \text{Taxa de operação líquida} * \text{Taxa de velocidade de operação} \quad (5.4)$$

$$\text{onde Taxa de velocidade de operação} = \frac{\text{Tempo de Ciclo Teórico}}{\text{Tempo de Ciclo Atual}}$$

$$\text{Taxa de operação líquida} = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Tempo de operação}}$$

Em primeiro lugar foi necessário calcular o tempo de ciclo atual de todos os processos do sistema. Para o cálculo utilizou-se a *Fórmula 5.5* e os valores obtidos, em segundos necessários para processar mil rolhas, encontram-se na *Tabela 5.14*:

$$\text{Tempo de ciclo atual} = \frac{1000 * 3600}{\text{Produção horária}} \quad (5.5)$$

$$\text{onde Produção horária} = \frac{\text{Quantidade total processada}}{\text{Horas Efetivas trabalhadas}}$$

**Tabela 5.14 – Tempos de ciclo atuais em cada processo do sistema**

Processo	Quantidade total processada (milhares de rolhas)	Horas Efetivas trabalhadas	Produção Horária (rolhas / h)	Tempo de Ciclo Atual (seg. / mil rolhas)
Extrusão	26.295 + 83.310 = 109.605	949,5 h	115.434	31,19
Topejamento	25.568	697,5 h	36.657	98,21
Colagem	102.979	963,0 h	106.936	33,67
Retificação	112.339	1.057,5 h	106.231	33,89
Lavação	115.525	1.044,0 h	110.656	32,53
Escolha Eletrônica	115.922	1.057,5 h	109.619	32,84
Embalagem	96.984	945,0 h	102.628	35,08

Para o cálculo do tempo de ciclo teórico utilizou-se a *Fórmula 5.6* e os valores obtidos, em segundos necessários para processar mil rolhas, encontram-se na *Tabela 5.15*:

$$\text{Tempo de Ciclo Teórico} = \frac{1000 * 3600}{\text{Capacidade Nominal}} \quad (5.6)$$

**Tabela 5.15 – Tempos de ciclo teóricos em cada processo do sistema**

Processo	Capacidade Nominal (rolhas / h)	Tempo de Ciclo Teórico (seg. / mil rolhas)
Extrusão	142.895,9	25,19
Topejamento	87.695,0	41,05
Colagem	164.051,6	21,94
Retificação	172.515,0	20,87
Lavação	159.692,0	22,54
Escolha Eletrônica	159.767,4	22,53
Embalagem	153.853,5	23,40

Agora é possível calcular a Eficiência, métrica de produção a qual fornece informação importante de como se encontra o estado do sistema. Todos os processos operam em 3 turnos de 8h exceto o Topejamento que opera apenas em 2 turnos diários, logo o tempo disponível para todos os processos é de 24h à exceção do Topejamento que possui 16h de tempo disponível diário.

Na *Tabela 5.16* são calculadas as taxas de operação líquida e de velocidade de operação e com o produto desses valores obtêm-se as Eficiência existentes nos processos para os meses de Setembro e Outubro de 2014:

**Tabela 5.16 - Eficiências no sistema**

Processo	Taxa de operação Líquida	Taxa de velocidade de Operação	Eficiência
<b>Extrusão</b>	$\frac{24 \text{ h}}{21,1 \text{ h}} = 1,1374$	$\frac{25,19}{31,19} = 0,8076$	$0,9186 = 91,86\%$
<b>Topejamento</b>	$\frac{16 \text{ h}}{15,5 \text{ h}} = 1,0326$	$\frac{41,05}{98,21} = 0,4180$	$0,4316 = 43,16\%$
<b>Colagem</b>	$\frac{24 \text{ h}}{21,4 \text{ h}} = 1,1215$	$\frac{21,94}{33,67} = 0,6516$	$0,7308 = 73,08\%$
<b>Retificação</b>	$\frac{24 \text{ h}}{23,5 \text{ h}} = 1,0213$	$\frac{20,87}{33,89} = 0,6158$	$0,6289 = 62,89\%$
<b>Lavação</b>	$\frac{24 \text{ h}}{23,2 \text{ h}} = 1,0345$	$\frac{22,54}{32,53} = 0,6929$	$0,7168 = 71,68\%$
<b>Escolha Eletrônica</b>	$\frac{24 \text{ h}}{23,5 \text{ h}} = 1,0213$	$\frac{22,53}{32,84} = 0,6861$	$0,7007 = 70,07\%$
<b>Embalagem</b>	$\frac{24 \text{ h}}{21,0 \text{ h}} = 1,1429$	$\frac{23,40}{35,08} = 0,6670$	$0,7623 = 76,23\%$

- **Cálculo do FTT**

Outra métrica de produção importante de calcular é o FTT o qual, segundo Chiarini (2013), é responsável por avaliar a qualidade e eficiência do produto em curso. Na *Fórmula 5.7* está expresso como é determinado o valor deste indicador:

$$FTT = \frac{\text{Total processado} - \text{PNC}}{\text{Total processado}} * 100 \quad (5.7)$$

No sistema em estudo apenas é possível calcular na Escolha Eletrônica. Neste processo são separados os produtos conformes dos não-conformes e é feito o registo da quantidade que segue para o processo seguinte do sistema, da que necessita de ser reprocessada, corrigida ou que sai do sistema como Apara.

Para o mesmo período de estudo (Setembro e Outubro de 2014) são apresentadas na *Tabela 5.17* as quantidades de produto que foram processadas na Escolha Eletrônica, em milhares de rolhas, e as respetivas percentagens do *Output* destino para onde segue o fluxo de material que entrou no processo. Na mesma tabela encontra-se distinguidos os produtos que foram processados à primeira do total de produto processado que inclui a quantidade de produto reprocessado. É importante fazer uma distinção entre ambos pois o produto que foi processado mais que uma vez é derivado dos defeitos, logo essa quantidade não é representativa da percentagem real dos defeitos, da classe fraca e da apara do sistema.

É considerado como produto não-conforme aquele que não apresenta qualidade para enviado para o cliente. Dentro desta categoria estão incluídos os produtos repassados no processo devido a serem classe fraca, os produtos defeituosos que voltam para a Retificação para reprocessar e a aparta que sai do sistema por não ter recuperação possível para a criação de rolhas.

**Tabela 5.17- Distinção do produto processado na Escolha Eletrônica**

		Produto conforme	Produto repassado	Produto defeituoso	Apara	Total processado
Processado à primeira	Quantidade (mil rolhas)	87.323	3.397	8.968	910	100.598
	Percentagem (%)	86,80%	3,38%	8,92%	0,90%	100,00%
Total Processado	Quantidade (mil rolhas)	97.533	3.861	13.402	1.126	115.922
	Percentagem (%)	84,14%	3,33%	11,56%	0,97%	100,00%

As percentagens dos defeitos e da classe fraca do produto processado à primeira são importantes para ter conhecimento da previsão aproximada das quantidades de material que sofrerão refluxos dentro do sistema após serem processadas na Escolha Eletrônica. É possível verificar que aproximadamente 9% do produto escolhido é considerado defeito e necessita de reprocessamento, aproximadamente 1% é aparta que segue para a Trituração e 3% é considerado de categoria fraca e necessita de ser repassado novamente na EE como produto de classe abaixo.

De seguida é calculado o FTT para a quantidade de produto processado à primeira e para o total de produto processado na Escolha Eletrônica:

$$FTT_{\text{processado à primeira}} = \frac{100.598 - (3.397 + 8.968 + 910)}{100.598} = \frac{87.323}{100.598} = 89,80\%$$

$$FTT_{\text{total}} = \frac{115.922 - (3.861 + 13.402 + 1.126)}{115.922} = \frac{97.533}{115.922} = 84,14\%$$

O valor obtido para o FTT total é o mais importante analisar como métrica de produção, pois tem em conta todo o produto processado e fornece a percentagem real de produto conforme que seguiu para o processo seguinte do sistema.

A Eficiência anteriormente calculada na Escolha Eletrônica é efetivamente menor na realidade pois neste processo o PNC não segue para a Embalagem. Ou seja, apenas é possível calcular a Eficiência Efetiva do processo utilizando a *Fórmula 5.8* que fornece informação mais conclusiva sobre a produtividade que o processo efetivamente obteve:

$$\text{Eficiência Efetiva} = \text{Eficiência} * \text{FTT} \quad (5.8)$$

Com base nas métricas, anteriormente calculadas no presente subcapítulo, para a atividade da Escolha Eletrônica:

$$\text{Eficiência Efetiva} = 0,7007 * 0,8414 = 0,5896 = 58,96\%$$

Para entrar em concordância com este novo indicador, foi calculado novamente o tempo de ciclo tendo em conta a produção que efetivamente segue para a atividade seguinte. Com o efeito dos reprocessamentos, o tempo necessário em segundos para produzir mil rolhas conformes terá de ser superior. Deve-se recorrer à *Fórmula 5.9* para calcular o tempo de ciclo efetivo:

$$\text{Tempo de Ciclo Efetivo} = \frac{\text{Tempo de Ciclo}}{\text{FTT}} \quad (5.9)$$

O Tempo de Ciclo efetivo na Escolha Eletrónica é dado por:

$$\text{Tempo de Ciclo Efetivo} = \frac{32,84 \text{ seg./mil rolhas}}{0,8414} = 39,03 \text{ seg./mil rolhas}$$

- **Análise global às métricas do sistema**

A Retificação é em teoria, nas condições ideais, o processo com capacidade nominal de processar um maior número de rolhas, ou seja, a que apresenta menor tempo de ciclo teórica. Em sentido inverso possui uma das eficiências mais baixas.

O Topejamento é o processo que apresenta pior desempenho, pois é o que tem o maior tempo de ciclo e pior Eficiência. Na realidade este processo não é tão crítico pois apenas os corpos produzidos na linha 4 da Extrusão necessitam de ser aqui processados, os quais representam aproximadamente 24% fluxo.

A Escolha Eletrónica aparentemente indicava ter uma capacidade nominal elevada, uma Eficiência e tempo de ciclo com valores suficientes para processar todo o material em curso que chegava ao processo. Quando se tem em atenção a percentagem de produto conforme, os reprocessamentos e as repassagens, conclui-se que os valores efetivos de Eficiência e o tempo de ciclo são menores. Verifica-se que a Eficiência Efetiva calculada é 58,96% e o tempo de ciclo efetivo é 39,03 seg./mil rolhas, o que implica que este processo possua o pior desempenho de todos e que possa ser um indicio ser a atual restrição do sistema.

Outras métricas de produção importantes calcular são a disponibilidade e o OEE de cada processo, mas devido á insuficiência de dados neste momento não foi possível determinar os valores dessas métricas.

### 5.1.2. Criação de VSM e análise do *Current State*

O primeiro passo na criação de um *Value Stream Mapping* foi determinar o *Takt Time* do sistema, ou seja, qual é a taxa da procura em que o mercado consegue absorver a quantidade total produzida. Para o cálculo utilizou-se o valor real, segundo o orçamento das vendas para o ano 2015, de quantos milhares de rolhas estaria previsto que os clientes atuais necessitem que sejam produzidas para cumprir as encomendas. Segundo o departamento de logística, o mercado exige 2,55 milhões de rolhas por dia de produto originado na secção em estudo. Logo o valor determinado, em segundos, para o qual deve produzir um milhar de rolhas é:

$$Takt\ Time = \frac{60*60*24}{2.550\text{ mil rolhas/dia}} = 33,88\text{ seg./mil rolhas}$$

A atual restrição encontra-se dentro do sistema, pois existem processos com tempos de ciclo superiores ao *Takt Time* calculado, o que implica que devido à incapacidade de alguns processos não é possível produzir de modo a satisfazer todas as encomendas.

- **Determinação do *Lead Time***

A informação sobre o lote a produzir é transmitida entre alguns processos através de *Kanban* os quais puxam o produto em curso conforme as necessidades do processo seguinte. Este género de planeamento da produção criou dificuldades na determinação do tempo médio em que um lote de produto demora a deslocar-se entre processos, pois cria variabilidade no tempo de espera de processamento e que faz com que abastecimento das máquinas não siga a ordem FIFO.

Foi realizado um exercício de rastreabilidade em que se controlaram as deslocações de três lotes de produto de modo a encontrar o *Lead Time* médio existente entre processos. Os resultados do estudo efetuado encontram-se apresentados na *Tabela 5.18*, em horas, com os valores aproximados aos obtidos do tempo desde que iniciou o processamento de um lote de produto até momento em que o mesmo finalizou. Foi necessário ter em conta que 24% do produto é processado no Topejamento e os restantes 76% circulam diretamente da Extrusão para a Colagem, logo foi necessário calcular o *Lead Time* separadamente para os dois tipos de fluxos que existem no sistema.

**Tabela 5.18 – *Lead Time* entre processos do sistema**

Movimentação de produto	Lead Time (horas)
Armazém de Granulado ROSA → Extrusão (Estabilização)	24,0 h
Extrusão → Topejamento (24% do fluxo)	10 h * 0,24 = 2,4 h
Topejamento → Colagem (24% do fluxo)	6 h * 0,24 = 1,4 h
Extrusão → Colagem (76% do fluxo)	12 h * 0,76 = 9,1 h
Colagem → Retificação	20,0 h
Retificação → Lavação	16,0 h
Lavação → Escolha Eletrónica	24,0 h
Escolha Eletrónica → Embalagem	12,0 h
Embalagem → Armazém de Produto Acabado	0,1 h

Com os dados recolhidos anteriormente foi possível construir o VSM do sistema atual, disponível no *Anexo B.I*, referente aos meses de Setembro e Outubro de 2014.

- **Análise do *Current State***

Ao analisar o VSM, verifica-se que na Escolha Eletrónica existem vários refugos: 9% de produto defeituoso, 1% para Aparar e 3% volta a ser repassado como classe fraca. Desde que é feita uma encomenda o sistema demora 109 h a processar esse pedido, ou seja, aproximadamente 4,5 dias desde que a MP provém dos fornecedores até se encontrar disponível no armazém de produto acabado pronto para expedir aos clientes. Os processos que acrescentam valor ao produto apenas



representam 0,0005835% do total gasto para produção o que implica que haja uma grande margem de possível valor a ganhar no sistema. A Retificação, a Escolha Eletrónica e a Embalagem apresentam tempos de ciclo superiores ao *Takt Time* do sistema.

O processo que apresenta maior tempo de ciclo é o Topejamento que necessita para produzir mil rolhas de 98,21 segundos, mas como apenas são processadas 24 % das rolhas então efetivamente o tempo de ciclo do que é necessário processar passa a 23,57 segundos, logo este processo não é crítico como aparentava. O Topejamento também é ocupado no resto do tempo livre a processar corpos para a secção AGLO, logo a sua baixa eficiência não corresponde à realidade.

O processo que possui um ciclo para produzir de mil rolhas, que efetivamente seguem para o processo seguinte do sistema maior é a Escolha Eletrónica com o valor de 39,03 segundos necessários para processar efetivamente mil rolhas. Aparentemente é o processo mais crítico do sistema e que poderá ser a atual restrição como será demonstrado através de uma simulação no subcapítulo seguinte.

### 5.1.3. Simulação real no Sistema e identificação da restrição

Para validar os resultados obtidos no VSM deve-se recorrer à simulação real no sistema. Existem motivos que implicam a necessidade de utilização de *software* informático de simulação como a falta de permissão ou o risco para a organização inerentes de provocar mudanças no funcionamento normal dos processos do sistema. No presente sistema foi possível realizar a simulação recorrendo ao sistema real, pois foi dada permissão pelo Diretor Industrial e foram criadas as condições para a realização do estudo de modo a que não prejudicasse as encomendas já previamente planeadas.

As condições de aplicabilidade do estudo de simulação real no sistema foram:

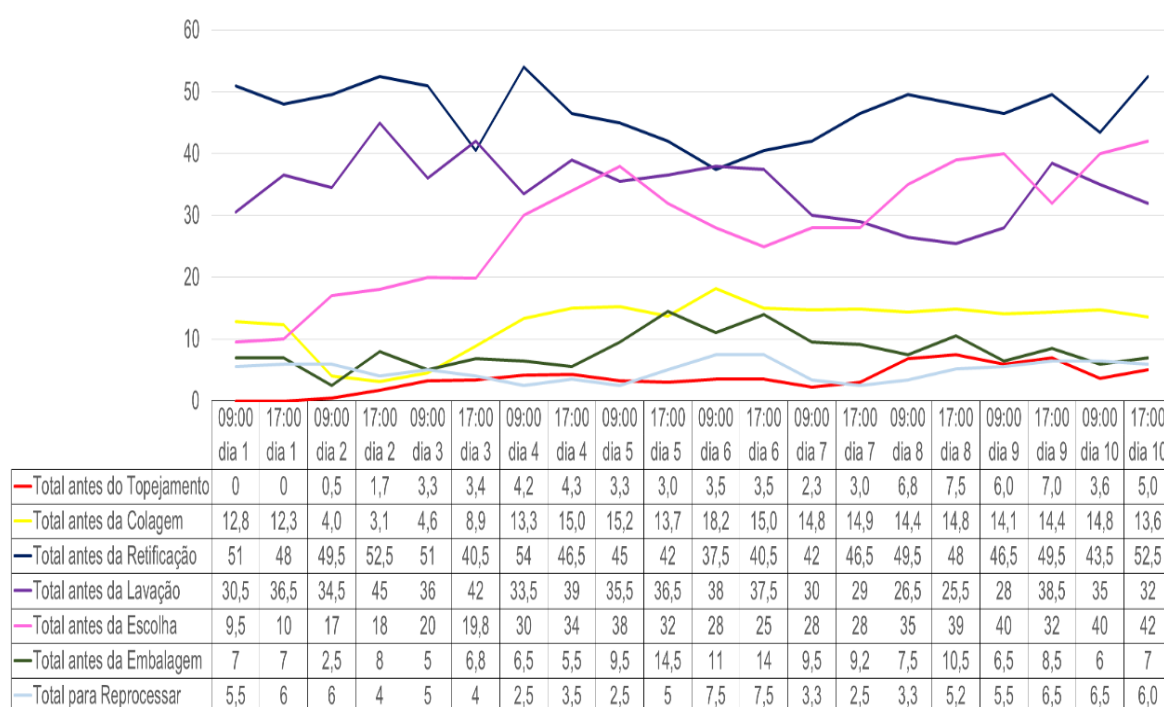
- Ordem para cada processo cumprir rigorosamente com o tempo de operação planeado tal como verificado na *Tabela 5.13*;
- Não recorrer a horas-extra de trabalho (durante o período do estudo apenas foi realizada atividade produtiva em dias úteis);
- Análise do inventário WIP realizado duas vezes diariamente (9h00 e 17h00);
- Período de estudo de 10 dias, iniciado numa segunda-feira (primeiro dia útil da semana) e término na sexta-feira da semana seguinte (último dia útil da semana).

Em primeiro lugar foi criado um *template* para proceder ao registo do inventário WIP antes de cada processo, disponível no *Anexo C.I*.

Antes de alguns processos, o produto em curso é armazenado em contentores diferentes o que e dificultou o registo do inventário. Para o *stock* existente antes da Retificação o produto é armazenado em silos e foi necessário fotografar as janelas de cada silo para estimar a quantidade contida nos mesmo sabendo que um silo cheio tem volume equivalente à capacidade de três cestos. Antes da Lavação o produto é armazenado em paloxes que correspondem a metade da capacidade de um cesto. De modo existir termo de comparação, converteram-se todas as quantidades

existentes numa unidade de medida: capacidade de cesto cheio de produto. Antes do Topejamento, o produto existente é apenas corpos de 37,0 mm e o inventário que antecede a Colagem é constituído por corpos de 31,5 mm, 36,2 mm e 42,5 mm. A partir deste processo o produto contabilizado está separado em rolas de comprimento 39 mm e 44 mm e foram distinguidas as rolas TT das “0+1”.

No Anexo C.II estão representados, graficamente para cada tipo de produto e para o total dos mesmos, os resultados do WIP existente antes de cada processo com os valores apresentados em cestos cheios. Nos processos cujos armazenamentos não são realizados em cestos converteu-se respeitando as proporções das capacidades de cada contentor de produto comparativamente à capacidade dos cestos. A Figura 5.2 resume graficamente os resultados, em cestos, obtidos para a variação do inventário WIP antes de cada processo ocorrido durante o período de estudo. A figura seguinte apenas apresenta o conjunto de todos valores apresentados no Anexo C.II.



**Figura 5.2 - Variação do inventário WIP, em cestos, antes de cada processo do sistema**

É possível verificar através da análise dos dados apresentados na figura anterior que o processo que claramente possui maior quantidade de material em curso para ser processado é a Retificação pois além de ter de processar as rolas que são processadas à primeira chegadas da Colagem, também é responsável pelo WIP para reprocessar. Este processo embora possua o maior nível de *stock*, não se afigura tão problemático pois no início do estudo já se encontrava com o inventário elevado antes do exercício de simulação. Através de uma análise visual é possível verificar que a curva que apresenta maior tendência de crescimento aparentemente é a quantidade de rolas antes da Escolha Eletrónica.

Na Tabela 5.19 estão apresentadas as equações da linha de tendência linear e os valores da sua derivada que permitem obter informação sobre qual é a tendência da variação do inventário WIP antes de cada processo ao longo do período que decorreu a simulação real no sistema.

Tabela 5.19- Equações de tendência linear e derivada da variação do WIP antes de cada processo

Local do Inventário	Equação da linha de tendência linear	Declive da reta
Antes do Topejamento	$y = 0,279 x + 0,667$	0,279
Antes da Colagem	$y = 0,399 x + 8,408$	0,399
Antes da Retificação	$y = -0,129 x + 48,150$	- 0,129
Antes da Lavação	$y = -0,362 x + 38,255$	- 0,362
Antes da Escolha Eletrônica	$y = 1,426 x + 13,29$	<b>1,426</b>
Antes da Embalagem	$y = 0,127 x + 6,769$	0,127
Antes de Reprocessar (Retificação)	$y = 0,043 x + 4,438$	0,043

Como verificado visualmente na *Figura 5.2*, o WIP antes do processo Escolha Eletrônica é o que apresenta destacadamente dos outros inventários a maior derivada. Como foram realizadas 2 observações diariamente ao longo do período de estudo, então significa que o dobro da derivada será a previsão do aumento de WIP de um dia para o seguinte.

Na EE a tendência mostra que a previsão é que a cada dia aumente o material em curso e a fila de espera para processar em quase 3 cestos de produto por dia segundo as condições de aplicabilidade do exercício de simulação.

- **Identificação da restrição**

Segundo Sproull (2009a) podem existir restrições internas ou externas ao sistema. No caso de a capacidade atual ser superior à procura do mercado, então a restrição será externa e o aumento da capacidade produtiva dos processos do sistema não adiantará nada pois se a produção aumentar e o mercado não conseguir escoar os produtos, apenas aumentarão os *stocks*. Nessa situação o foco deve ser no ganho adicional do *share* de mercado. Esse *share* pode ser ganho ao conseguir tempos de realização de encomendas menores, melhorias de qualidade dos produtos ou com melhores serviços de apoio ao cliente. No sistema atual existem várias encomendas que são rejeitadas devido à incapacidade de produção, por isso, era sabido que a restrição é interna.

A produção dos processos anteriores à Escolha Eletrônica foi sempre forçada a abrandar a sua cadência de modo a não acumular mais WIP e o processo teve de recorrer a horas extras. Os *Kanban* de produção até agora sempre funcionaram com base na informação da eficiência que a EE tinha na semana anterior, o que significa que a cadência efetiva deste processo restringia a cadência dos restantes processos do sistema.

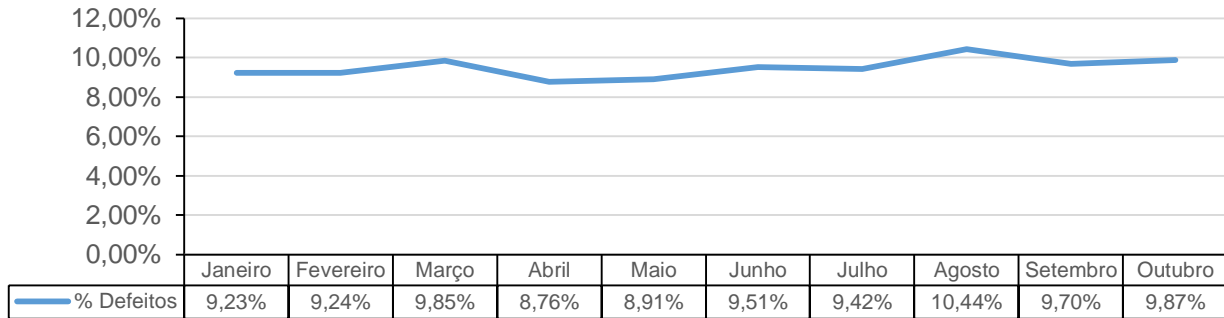
Com base na comparação dos dois métodos propostos na metodologia de investigação para a análise do sistema, comprovou-se que em ambos os casos o processo que demonstra ser o mais crítico, faz perder valor ao sistema e onde existe acumulação de inventário WIP é a Escolha Eletrônica, logo determinou-se que é a restrição atual do sistema.

#### 5.1.4. Análise e mobilização na restrição

A atual restrição do sistema é a Escolha Eletrônica e irá ser aqui onde todos os esforços de aplicação da melhoria contínua se irão concentrar. É conhecido tem capacidade de processamento suficiente comparativamente à quantidade de produto que chega dos processos anteriores

atualmente, embora a grande problemática é a existência de vários refluxo de material no processo onde parte do produto abastecido após ser processado pode sair do sistema, necessitar de ser reprocessado ou repassado novamente como classe fraca.

Desde o início do ano 2014 até ao mês de Outubro, a média da percentagem de defeitos mensais do produto processado à primeira vez encontra-se representado na *Figura 5.3*. Dentro dos defeitos estão incluídos os críticos, anteriormente denominados por Apara.



**Figura 5.3 - Variação percentual de Defeitos em 2014**

Ao analisar a figura anterior é possível concluir que percentagem de Defeitos, inclusive Apara, existentes em 2014 sofreu ligeiras variações mensais e a sua média até ao momento encontra-se aproximadamente na ordem dos 9,5%.

O valor anteriormente calculado da percentagem de defeitos existentes é elevado, embora seja compreensível pois se trata de um produto natural produzido em grande volume e sujeito a defeitos já contidos na MP abastecida pelos fornecedores. Um dos objetivos proposto é reduzir a percentagem atual de defeitos até ao valor real de defeitos contidos na MP. Só é possível alcançar ao eliminar as falsas rejeições de produto escolhido no processo. Os custos associados ao reprocessamento dos defeitos são superiores ao do material processado à primeira porque ocupa máquinas novamente, ocupa mais tempo dos operadores e consome de novo energia durante o reprocessamento.

Atualmente a EE necessita de 39,03 segundos de atividade para processar mil rolhas conformes para embalar. Este valor tem de ser reduzido em pelo menos em 5,15 seg./mil rolhas para cumprir os 33,88 seg./mil rolhas estabelecidos para o *Takt Time*. Se não houvesse refugo neste processo, o tempo de ciclo seria de 32,84 seg./mil rolhas e nesse caso não seria o *bottleneck* do sistema. Em condições ideais, sem a existência de paragens, defeitos ou reprocessamentos, nem perdas nos *changeovers*, o tempo necessário para produzir mil rolhas seria apenas de 22,60 seg.

Se o valor do FTT se mantiver em 84,14%, então o tempo de ciclo e a eficiência da Escolha Eletrónica para que não haja restrição teriam de ser:

$$T_{\text{ciclo}} = \text{Takt Time} * \text{FTT} = 33,88 * 0,8414 = 28,51 \text{ seg./mil rolhas}$$

$$\text{Performance da Eficiência} = \frac{24 \text{ h}}{23,5 \text{ h}} * \frac{22,53}{28,51} = 1,0213 * 0,7902 = 0,8070 = 80,70\%$$

- **Mobilização e foco na restrição**

É importante criar equipas de trabalho para a exploração, futura monotorização e controlo da atual restrição. Estas equipas, mesmo após ser a melhoria, têm de se manter ativas de modo a

evitar a inércia e perda de performance novamente. O foco dos operadores tem de ser mantido no processo e os próprios recursos têm de ser estimulados. Um dos *outputs* esperados para a restrição com a implementação do modelo TLS é a melhoria da qualidade de modo a aproximar o sistema de um nível de Sigma 6, onde só se encontrariam 3,4 defeitos por milhão de oportunidades. A produtividade da restrição tem de aumentar com o aumento do FTT o máximo possível e a melhoria da Eficiência do processo de modo a que possa cumprir ou até mesmo ser superior ao *Takt time* do sistema.

## 5.2. Explorar Restrição

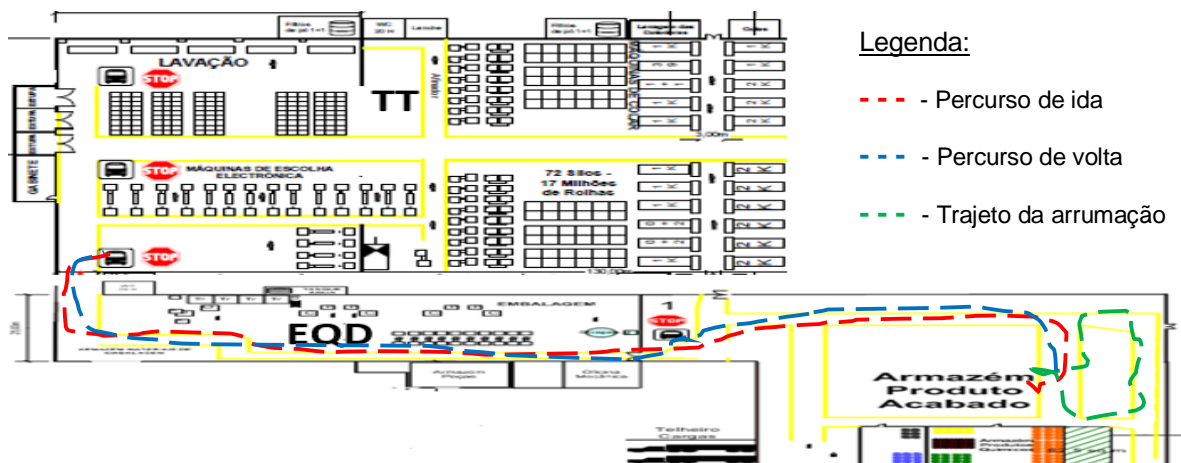
### 5.2.1. Caracterizar e identificar fontes de desperdício

O sistema em estudo já tinha sofrido previamente consultorias externas onde foi explorada fortemente a componente de *Lean*, embora sempre existirá espaço para novas melhorias.

- **Observação do Gemba e Diagrama Esparguete**

Com a observação do *Gemba* foi possível fazer uma análise crítica. Em relação às deslocações dos operadores na restrição já se encontravam otimizadas, por isso, foram observadas também as deslocações dos operários logísticos que são responsáveis pelo abastecimento e descarga das máquinas.

Recorrendo à ferramenta denominada por Diagrama de Esparguete, encontrada na *Figura 5.4*, observa-se na situação atual um *Muda* nas deslocações do operador logístico no transporte de paletes para o Armazém de produto acabado.



**Figura 5.4 - Diagrama Esparguete do transporte de paletes entre a secção TT e o Arm. P.A**

Atualmente nesta atividade de transporte surge a oportunidade de introduzir um novo meio de transporte com capacidade de transportar várias paletes em simultâneo substituindo o empilhador que apenas é capaz de transportar uma paleta. Num exemplo de um veículo com a capacidade de três paletes reduziria o número de viagens de seis para duas, o operador logístico estaria mais tempo disponível na secção junto às máquinas para controlar as necessidades de abastecimento de produto e a maior permanência do operador implicaria que o tempo de paragem por falta de abastecimento das máquinas seria mais reduzido aumentando assim a eficiência.

- **Oportunidades 5S e falhas de gestão visual**

A gestão visual existente possui algumas debilidades mais concretamente na identificação do produto em curso contido nos cestos e paloxes. Nas *Figuras 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8* é possível observar que as folhas de identificação e rastreabilidade encontram-se mal colocadas e é recorrido constantemente a fita aderente na colocação das folhas de rastreabilidade nos cestos e paloxes.



**Figura 5.5 – Cestos de produtos com fraca gestão visual**



**Figura 5.6 – Folha de identificação**



**Figura 5.7 – Cesto de produto na EE**



**Figura 5.8 – Paloxe de produto na Lavação**

As falhas na gestão visual também se encontram associadas a oportunidades de aplicação dos 5S. Na situação atual, no sentido de limpeza existe lixo que é criado devido à utilização de fita aderente em vez de recorrer a materiais, como o exemplo do velcro, que não criam tanta sujidade e que podem ser reutilizados. Com melhorias na identificação é possível aplicar os princípios de organização e de utilização da filosofia dos 5S. O sentido de normalização pode ser melhorado com a remarcação de tinta no chão em algumas zonas da secção.

O processo de rastreabilidade do produto dentro da fábrica atualmente também apresenta algumas debilidades em termos da pouca informação existente nas folhas. Na *Figura 5.9* encontra-se um exemplo da identificação existente nas máquinas. Esta apresenta-se muito incompleta para os operadores logísticos que abastecem as máquinas. A necessidade de pedir informações adicionais aos operadores na hora do abastecimento é um *Muda* que pode ser eliminado com a criação de novas identificações nas máquinas.





Figura 5.9 – Identificação Atual das máquinas

- **Setup e troca de ferramentas**

A troca de produto ou de calibre nas máquinas atualmente encontra-se normalizado e é realizado com rigor e sem perdas de tempo visivelmente desnecessárias, logo a aplicação de SMED no processo não se justifica pois não iria apresentar grandes ganhos produtivos.

- **Necessidades de *Standard Work***

Uma alteração no processo que pode gerar grandes ganhos capacitativos e redução do FTT é a tentativa de fazer com que o processo deixe de processar aproximadamente 3% das rolhas novamente, ou seja, eliminar as repassagens. Este valor é possível de ser realizado com a criação de um *Standard Work* que estude a viabilidade de as rolhas que são escolhidas como classe fraca de seguirem para o processo seguinte (Embalagem) serem diluídas com outras da mesma classe abaixo. Assim é possível eliminar um processamento desnecessário que se apresenta como vários *Muda* tanto em termos de excesso de processamento, de inventário e de transporte. A reprogramação de máquinas, a formação de operadores para o novo trabalho e a criação de uma norma serão necessários para que se aproveite esta oportunidade melhoria em termos de eliminação de desperdícios no processo.

- ***Current State vs Future State***

Com base no estado atual do VSM foi definido o que é pretendido para o *Future State* do sistema e foram definidos alguns eventos *Kaizen* de melhoria contínua que poderão ser aplicados. Na Figura 5.10 encontra-se o excerto do *Future State* pretendido para o sistema em redor da restrição pois é aí o foco para a implementação do modelo TLS e exploração das melhorias LSS:

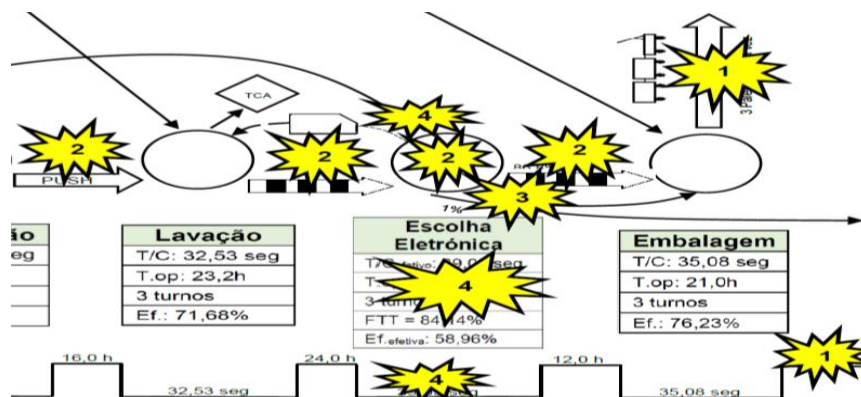


Figura 5.10 – Excerto do *Future State* onde foram aplicadas as melhorias

É possível observar na figura anterior, disponibilizada em completo no *Anexo B.II*, que existem pelo menos quatro oportunidades de melhoria de eliminação de desperdícios na restrição e na sua área envolvente. O primeiro evento *Kaizen* assinalado na figura representa a alteração do transporte atual com empilhador por um veículo já existente na fábrica com capacidade para transportar 3 paletes de uma só vez. Esta melhoria iria também afetar o *Lead time* entre a Embalagem e o Armazém de produto acabado. O segundo evento representa alterações necessárias de realizar nas identificações nos cestos e paloxes de produto e nas máquinas para uma solução que cumpra os 5S e melhore a gestão visual do produto em curso dentro da secção de forma normalizada. O terceiro evento presente no *Future State* é a passagem da classe fraca, que representa aproximadamente 3,2% do produto, para o processo seguinte do sistema evitando que volte a ser reprocessada é feito atualmente. O último evento *Kaizen* corresponde à aplicação de melhorias no *bottleneck* com recurso a ferramentas LSS de forma a: melhorar a qualidade, aumentar o FTT com a redução da percentagem de defeitos e acrescer a capacidade produtiva ao processo que origina uma redução do tempo de ciclo e aumento da eficiência.

### 5.2.2. Caracterizar e identificar Variabilidade

Falta agora identificar as oportunidades e potenciais ganhos podem advir da redução dos defeitos, o último dos 7 *Muda*. Existe um padrão, conhecido pelos clientes, onde se avalia se um produto é defeituoso e qual é o seu grau de gravidade. Para a realização dos estudos no presente subcapítulo foi recorrido ao padrão atual de defeitos e ao apoio de operadores especializados em escolha de rolhas. Na *Figura 5.11* encontra-se o padrão atual que define se um defeito é Crítico (apara), Maior (reprocessável), Classe fraca (classe abaixo) ou de Classe (não é defeito):



Figura 5.11 - Padrão atual de defeitos

- **Diagrama de Pareto do produto antes da restrição**

Para compreender melhor os defeitos existentes no sistema foram distinguidos os defeitos externos provenientes do fornecedor e originados na matéria-prima (MP) dos defeitos originados internamente resultantes do processamento ou transporte dentro da secção (TT). Dentro da categoria de defeitos MP estão incluídos: Ano seco, Trincas/Lenticelas, Bicho-disco, Fenda e Defeito lateral. Na categoria TT encontram-se os defeitos: Corpo, Descolado e Descentrado.

Realizou-se um estudo onde foram recolhidas de forma aleatória, seis vezes por dia, 84 amostras de 100 rolhas cada que iam ser abastecidas na Escolha Eletrónica. Cada produto foi



analisado, comparado com o padrão e confirmado com um operador experiente. Os resultados obtidos e discriminados por tipo de defeito antes da EE encontram-se expostos na *Tabela 5.20*:

**Tabela 5.20 - Defeitos encontrados antes da EE**

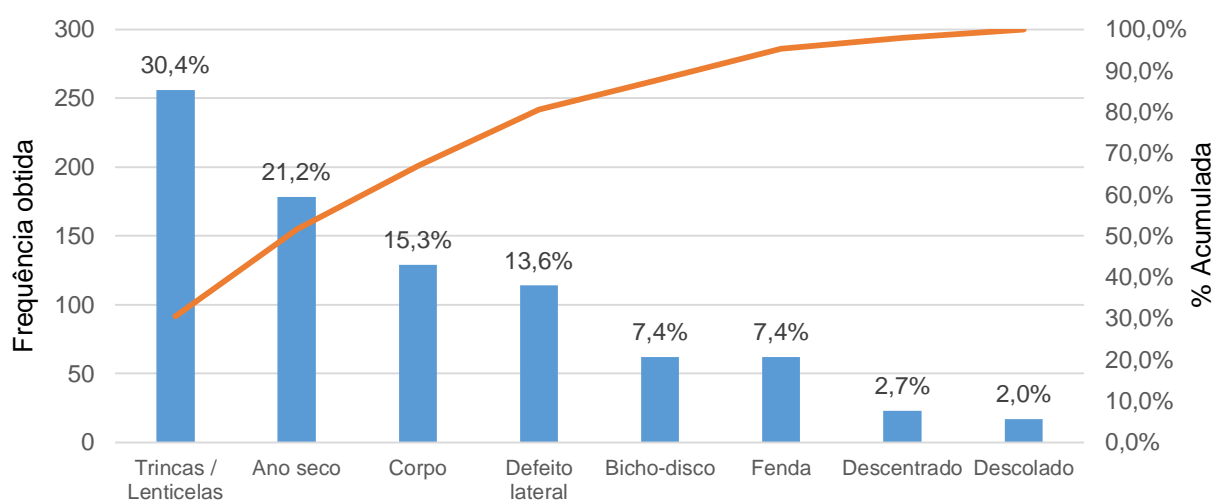
Tipo de Defeito	Ano seco	Trincas/Lenticelas	Bicho-Disco	Fendas	Defeito lateral	Corpo	Descolado	Descentrado	Total
Frequência Obtida	178	256	62	62	114	129	17	23	841
Percentagem	21,2%	30,4%	7,4%	7,4%	13,6%	15,3%	2,0%	2,7%	100%

Na *Tabela 5.21* encontram-se agregados os defeitos, apresentados na tabela anterior, pela origem e é calculada a percentagem representativa para o total de produto amostrado:

**Tabela 5.21 - Origem dos defeitos encontrados antes da EE**

	Defeitos TT	Defeitos MP	Defeitos	Total Amostrado
Frequência Obtida	169	672	841	8.400
Percentagem Representativa	2%	8%	10%	100%

Verifica-se que aproximadamente 10% do produto que abastece a restrição é defeito e este produto não sofre qualquer tipo de triagem até este ponto no sistema. Com os dados obtidos no estudo é possível neste momento construir um diagrama de Pareto dos defeitos encontrados antes da Escolha Eletrônica, como representado na *Figura 5.12*:



**Figura 5.12 - Diagrama de Pareto dos defeitos antes da EE**

É possível verificar que os defeitos mais representativos são as Trincas/Lenticelas e o Ano seco ambos originados principalmente na matéria-prima. O defeito de corpo é aquele que se encontra com mais frequência dos originados dentro da secção TT.

- **Diagrama Causa-Efeito (Ishikawa)**

A ferramenta mais adequada para estudar o defeito mais representativo é o diagrama Causa-Efeito, também denominado por diagrama de Ishikawa. Para o defeito Trincas/Lenticelas encontra-se representada a ferramenta na *Figura 5.13*:

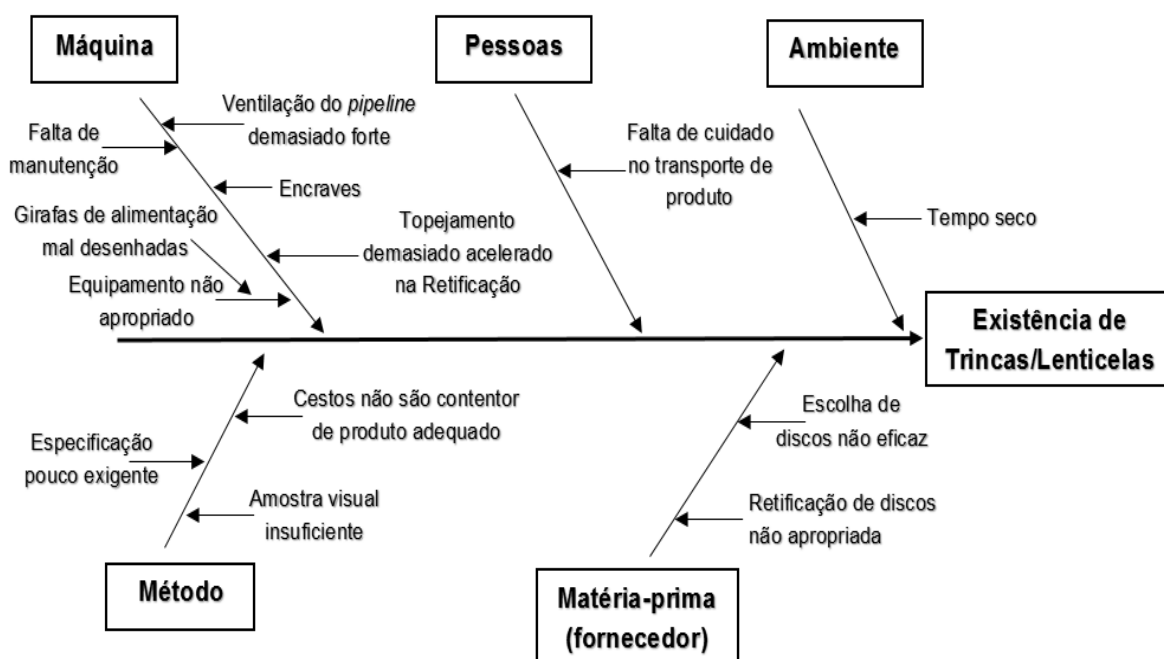


Figura 5.13 – Diagrama de Ishikawa para as Trincas/Lenticelas

As Trincas são considerados defeitos externos, mas é possível verificar que há causas internas que podem afetar esse defeito e que possivelmente poderão ser corrigidas. Para isso foi realizado um estudo onde foram recolhidos 500 discos de um mesmo lote e mediu-se a percentagem de trincas existente em vários locais por onde passou. Do mesmo lote posteriormente acompanhou-se 500 rolhas na entrada e saída de cada silo ou máquina. A *Tabela 5.22* apresenta os valores obtidos de Trincas/Lenticelas encontradas em cada localização e a percentagem representativa:

Tabela 5.22 – Estudo de Trincas/Lenticelas existentes em vários pontos do sistema

Localização	Total de Trincas/Lenticelas	% Trincas/Lenticelas
Saída dos Silos de Discos (discos)	16	3,2%
Saída dos Vibradores das máquinas de Colagem (discos)	20	4,0%
Saída das máquinas de Colagem (rolhas)	18	3,6%
Saída dos Silos de Colagem (rolhas)	29	5,8%
Entrada na Retificação (rolhas)	34	6,8%
Saída da Retificação (rolhas)	9	1,8%
Saída da Lavação cl2000 (rolhas)	29	5,8%
Saída da Lavação cerveja (rolhas)	27	5,4%
Dentro das máquinas EE S530 (rolhas com lavação cl2000)	29	5,8%
Dentro das máquinas EE S430 (rolhas com lavação cerveja)	28	5,6%

As primeiras conclusões que podem ser tiradas através do estudo anterior é que existem dois pontos no sistema onde são originados grande maioria dos defeitos Trincas/Lenticelas. Um local é o transporte através dos silos da Colagem que pode ser explicado pelo sistema *pipeline* por ventilação que transporta as rolhas, a elevadas temperaturas, após saírem da estufa. O impacto causado pelos choques dentro da tubagem deverá provocar quebras nos topos das rolhas. Outro

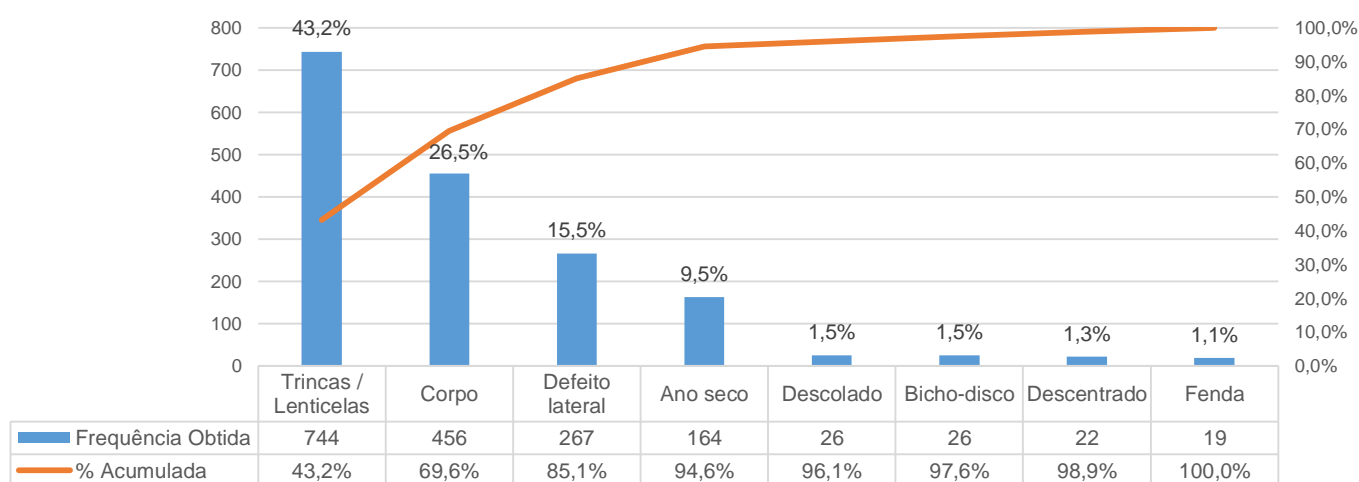
ponto preocupante é à saída da Lavação, pois durante o processo as rolhas encontram-se dentro de um tambor húmidas e o choque com as paredes da máquina durante a lavação é uma causa para o aumento da percentagem do defeito encontrada. Nota-se que a lavação cl2000 provoca um número ligeiramente maior de Trincas/Lenticelas possivelmente devido ao tempo de processamento ser superior ao da lavação cerveja. Para minimizar os defeitos da Lavação pode ser testado a possível redução do tempo de processamento, sem afetar a eficácia do processo, o que permitiria reduzir os defeitos aqui criados e além disso aumentar a capacidade do processo.

Na saída da Colagem o aumento deveria ser aproximadamente o dobro porque em cada corpo são colados dois discos e, mesmo que um não tenha defeito, basta que um dos discos tenha defeito para ser considerado defeito no produto. Não se verifica essa grande diferença talvez porque aqui o excedente de cola disfarça os defeitos já existentes e os discos ao serem colados nos corpos no melhor lado fazem com que o defeito se encontre no interior da rolha. Em sentido inverso, na Retificação verifica-se uma diminuição da percentagem de Trincas/Lenticelas porque este processo ao reduzir o comprimento e a largura das rolhas elimina grande parte dos defeitos que se encontram na superfície da rolha. Neste momento é aconselhado definir uma estratégia para reduzir o defeito nos dois pontos críticos.

- **Diagrama de Pareto do produto após a restrição**

Após conhecer como se comportam os defeitos encontrados antes da Escolha Eletrónica é importante determinar a eficácia da escolha feita nas máquinas em relação à triagem dos defeitos. Para isso foi realizado um novo estudo no qual se analisa a saída dos defeitos, ou seja, do produto que irá ser reprocessado na Retificação. Assim se pode saber em que defeitos as máquinas são mais eficientes de escolher e qual é a quantidade de falsas rejeições existentes atualmente e o impacto económico que estas falhas representam.

Foram retiradas 2.700 rolhas de todas as classes visuais de produto em todas as máquinas. Construiu-se um diagrama de Pareto, presente na *Figura 5.14*, para compreender a frequência de defeitos encontrados após processados e serem escolhidos como sendo defeitos pelo programa das máquinas de escolha.



**Figura 5.14 - Diagrama de Pareto dos defeitos encontrados após a EE (saída defeitos)**

Os defeitos que apresentam uma maior discrepância na percentagem comparativamente ao valor encontrado antes da EE é o Ano seco e a Fenda, logo é mais provável que seja nestes dois defeitos que as máquinas cometam maiores falhas de leitura e permitam passar para o processo seguinte um maior número. O Ano Seco é o que se demonstra como a maior debilidade da escolha pois passou de representar 21,2% dos defeitos a apenas 9,5%. O resto dos defeitos segue aproximadamente uma reação esperada comparativamente com a percentagem que entrou no processo, à exceção do defeito Corpo que parece ser o defeito que as máquinas leem melhor.

Na *Tabela 5.23* encontra-se a frequência obtida e percentagem segundo a origem dos defeitos e a quantidade de rolhas que não apresentam qualquer defeito encontrada na saída dos defeitos, denominadas de falsas rejeições:

**Tabela 5.23 - Origem dos defeitos e falsas rejeições encontradas na saída dos defeitos**

	Defeitos TT	Defeitos MP	Total Defeitos	Falsas Rejeições	Total Amostrado
Frequência Obtida	504	1220	1724	976	<b>2.700</b>
Percentagem	29,2%	70,8%	63,9%	36,1%	<b>100%</b>

Neste momento a representatividade dos defeitos de MP continua a ser maior e deparou-se que apenas 63,9% das rolhas encontradas na saída dos defeitos é mesmo produto não-conforme.

- **Impacto económico da redução de defeitos**

Existe neste momento uma grande margem de ganho possível de obter com a eliminação dos 36,1% das rolhas que podem ser vendidas como produto conforme. Com base nesse valor foi calculado o impacto económico da possível eliminação das falsas rejeições. Para a realização dos cálculos foi deduzido que o preço de venda médio de 0,055€ cada unidade de produto. Este valor é uma média arredondada dos preços praticados aos clientes embora haja mais variáveis a ter em conta como a quantidade encomendada e a categoria de produto expedido. Cada unidade de defeito é possível ser vendida a 0,0035€/unidade. A margem existente entre vender como rolha boa ou defeito é:  $0,055 - 0,0035 = 0,0515\text{€/unidade} = 51,5\text{€/mil rolhas}$

A restrição processou à primeira 100.598 mil rolhas nos meses de Setembro e Outubro e sabe-se que 9% foi para a saída de defeitos, ou seja, 9.053 mil rolhas. Segundo o estudo anterior 36,1% desses defeitos são falsas rejeições o que resulta em 3.268 mil rolhas. Logo era possível ganhar no período em estudo (Setembro e Outubro) recorrendo à reprogramação das máquinas:

$$\text{Ganho potencial da eliminação das falsas rejeições} = 3.268 * 55,1 = 180.066,8 \text{ €}$$

O ganho possível pode rondar os 90.000€ mensais. Esta redução dos defeitos pode ter resultados ainda melhores que os calculados pois não tem em conta os ganhos obtidos pela redução dos reprocessamentos como de mão-de-obra e de energia.

Caso seja aumentada a capacidade produtiva então o ganho percentual será bem superior ao eliminar as falsas rejeições. Um dos focos aquando da implementação da filosofia 6-Sigma será a redução de todas as falsas rejeições o que implicará uma redução da variabilidade do processo.

### 5.2.3. Atuar com *Lean* sobre os desperdícios

Como o sistema foi encontrado não era possível calcular o OEE na restrição, pois não existia contabilização das paragens nem da qualidade no processo. Apenas existia previamente um indicador para a eficiência das máquinas de Escolha Eletrónica.

- **Cálculo do OEE e criação de novos indicadores**

Foi iniciado o registo das paragens e dos seus motivos na EE. Com a informação recolhida foi possível construir um novo indicador, presente no *Anexo D.I*, que fornecesse a informação sobre qual o tempo de paragem ocorrido semanalmente, quais as máquinas afetadas e os motivos respetivos das paragens. Outra informação que faltava complementar era o conhecimento sobre quais tinham sido as percentagens de defeitos encontrados no produto processado à primeira e nos reprocessamentos. Iniciou-se assim o cálculo diário desse valor e foi criado um novo indicador, em *Anexo D.II*, em complemento com a informação da percentagem de rolhas repassada novamente nas máquinas ou repassada nos tapetes de Escolha Manual.

Neste momento passou a ser possível calcular o OEE na Escolha Eletrónica. Sabe-se que o processo opera em 3 turnos de 8h e que são feitas duas paragens planeadas de 15 minutos, logo:

$$\text{Tempo de Produção Planeada} = 8 * 60 * 3 - 2 * 15 = 1.440 - 30 = 1.410 \text{ minutos}$$

O valor do *Takt time* de 2.550 mil rolhas/dia é a meta mínima de produto conforme que será embalado. Os objetivos predefinidos da Disponibilidade e da Eficiência são 100% e 85%, respetivamente, sendo apenas necessário calcular o objetivo da qualidade com base nos dois objetivos anteriores. Para a produção ideal foi utilizado nos seguintes cálculos o valor arredondado de 3.600 mil rolhas processadas por dia de trabalho. Logo para cumprir o objetivo da eficiência:

$$\text{Produção Total} = 3.600 * 85\% = 3.600 * 0,85 = 3.060 \text{ mil rolhas}$$

Como o objetivo da disponibilidade é 100%, logo:

$$\text{Objetivo da Qualidade} = 100\% * \frac{2.550}{3.060} = 83,33\%$$

Por decisão administrativa de modo a estimular mais os operadores do processo e tendo em conta que alguma da produção destina-se a *stock* ou resulta em sobras, decidiu-se alterar o objetivo da Eficiência para 90% e manter os outros sendo assim possível garantir o *Takt Time*. Logo o OEE objetivo é resultante do produto dos outros objetivos, podendo ser calculado por:

$$\text{Objetivo do OEE} = 100\% * 90\% * 83,33\% = 75\%$$

No *Anexo D.III* encontra-se disponível o novo indicador criado, atualizado diariamente, com os objetivos da Disponibilidade, Qualidade, Eficiência e OEE na restrição.

No momento ainda existia outro indicador importante em falta que permite melhorar o conhecimento dos operadores em termos da qualidade do produto. Logo foi criado o indicador, presente no *Anexo D.IV*, que apresenta a média da percentagem de classe visual encontrada nas

amostras recolhidas para cada classe escolhida e a respetiva percentagem de defeitos. Esta informação permite aos operadores poderem monitorizar mais eficazmente a qualidade de cada classe visual escolhida e saber se é necessário proceder a ajustes nos programas de modo a equilibrar com o padrão atualmente existente.

A criação de novos indicadores *Kaizen* é importante pois além de permitir aumentar o conhecimento sobre o processo por parte dos operadores faz em termos reais a criação de uma equipa de trabalho mais interessada no que faz, unida e motivada algo importante para o bom funcionamento do processo. Todos os novos indicadores foram formatados segundo *templates* resultantes de um projeto “Cork +” de melhoria contínua já existente na empresa e foram colocados no quadro onde são realizadas as reuniões de 5 minutos diários. Na *Figura 5.15* encontra-se o resultado final do quadro “*Kaizen*” após a introdução de todos os indicadores novos:



**Figura 5.15 - Quadro “Kaizen” após introdução de novos indicadores**

- **Melhorias no “5S” e gestão visual**

Na utilização dos “5S” e da melhoria da gestão visual, em primeiro lugar foi colocado velcro branco em todos os cestos e paloxes de produto na secção (*Figura 5.16*). Da mesma forma colocou-se velcro em todas as todas de rastreabilidade como representado na *Figura 5.17*:



**Figura 5.16 – Cesto com velcro colocado**



**Figura 5.17 – Folha com velcro colocado**

Na colocação do velcro foi pretendido que respeitasse a normalização, por isso, foi cortado sempre do mesmo tamanho e na colocação nos cestos foi utilizado um padrão de altura para que todas as folhas quando colocadas se encontrassem à altura média dos olhos dos operadores. Com



esta medida eliminou-se a utilização da fita aderente e do lixo que esta criava. Os operadores gastam agora menos tempo na atividade de identificação do produto, embora não seja um ganho significativo, se for tido em conta a quantidade de cestos e paloxes a identificar por dia pode ser considerado relevante. O resultado final encontra-se nas *Figuras 5.18 e 5.19*:



**Figura 5.18 – Paloxe de produto identificada**



**Figura 5.19 - Cesto de produto identificado**

Também foi alterada a identificação nas máquinas de EE. As placas anteriores foram substituídas por novas folhas que contêm mais informação sobre o produto a ser processado e quais as necessidades seguintes de abastecimento. Na *Figura 5.20* encontra-se a nova identificação e foi criado um lugar para a arrumação das novas identificações, organizadas por calibre, classe e tipo de lavação, como apresentado na *Figura 5.21* com o objetivo de reduzir perdas de tempo no *setup* aquando da alteração de produto nas máquinas.



**Figura 5.20 – Nova identificação de máquina EE**



**Figura 5.21 – Local para arrumação de identificações**

- **Ciclo Mizumashi (comboio logístico)**

Para resolver o problema identificado pelas deslocações excessivas foi introduzido o Ciclo Mizumashi numa atividade de transporte da secção, esta ferramenta surge do aproveitamento do veículo comboio logístico já existente na fábrica e que até ao momento possuía uma percentagem de inutilização superior a 70% do tempo disponível. Apenas foi necessário requisitar à equipa da manutenção uma nova carruagem com capacidade de carga de 3 paletes em simultâneo.

O primeiro passo seguido foi saber se deveria ser o operador logístico TT ou o da secção EQD, que utiliza o veículo até ao momento nos 30% do tempo de ocupação, encarregado pela nova tarefa. Foi feito um estudo da ocupação de cada operador cronometrando a um ritmo lento de trabalho cada tarefa realizada por dia e o número de vezes médio em que esta é repetida. Os resultados para os operadores de cada secção estão disponíveis no *Anexo D.V.* Obteve-se que operador TT tem aproximadamente 3,2h livres contra 1,7h do da EQD, logo será responsável pela nova tarefa. Como os operadores partilham o mesmo o veículo foi necessário recorrer à ferramenta de sinalização visual Andon, da filosofia *Lean*, e com apoio da manutenção instalou-se um semáforo.

O semáforo (*Figura 5.22*) é acionado através de um botão instalado no local de filmagem da paleta após o operador abastecer a carruagem com três paletes como representado na *Figura 5.23*. Após ser alertado pelo semáforo, o operador EQD quando finaliza a atividade que previamente já era realizava, aproveita folga de ocupação deixa o comboio engatado na carruagem abastecida com as três paletes e continua a sua atividade normal.



**Figura 5.22 – Semáforo Andon instalado**



**Figura 5.23 - Carruagem abastecida com 3 paletes**

A introdução desta atividade reduziu o tempo de transporte de paletes desde a Embalagem até ao Armazém de produto acabado e, além disso, aumentou a disponibilidade e permanência na secção do operador logístico TT, reduziu os gastos energéticos e melhorou a segurança com o novo veículo. A atividade como previamente era realizada ocupava aproximadamente 14 minutos no transporte de 3 paletes até ao Armazém PA e passou a demorar 9 minutos o que corresponde a uma redução percentual de 35% do tempo da atividade. Em cada turno são transportados em média 9 paletes de produto, logo realizam-se 3 ciclos com uma poupança de 15 min. A atividade apenas é realizada em dois turnos pois a bateria do comboio necessita de recarregar no turno noturno.

Desde o início da implementação da atividade observou-se que devido à maior permanência do operador na secção, não só as máquinas da restrição como as da Embalagem eram abastecidas mais rapidamente e o tempo de paragem por falta de abastecimento reduziu o que foi em parte responsável pelo aumento de eficiência obtido. Diariamente foram eliminados 30 minutos de tempo que não acrescentava valor ao produto, o qual poderia ser maior caso existisse um comboio para cada secção, evitando as deslocações desnecessárias resultantes da partilha do veículo.

- **Eliminação de etapa do processo (Classe abaixo)**

Um desperdício encontrado no processo é a repassagem de produto pertencente à classe fraca novamente nas máquinas da Escolha Eletrónica. O produto que apresenta fraca qualidade



visual ocupa duas vezes o processo em vez de seguir para o processo seguinte o que representa um *Muda* de processamento excessivo de produto.

A reprogramação das máquinas de modo a escolherem e cumprirem a especificação para ser embalado poderá ter um impacto positivo teórico na produtividade até 3,2%, pois é o que representa atualmente a classe fraca, embora efetivamente seja o dobro deste valor pois o produto de classe fraca deixará de voltar a ocupar as máquinas para repassar.

Em primeiro lugar para conhecer a situação atual do produto que se encontra nas saídas “Classe Fraca” das máquinas EE foram feitas amostras de 50 rolhas para A, A/B, B e B/C. Em C esta saída é misturada com os defeitos porque não são vendidas rolhas de classe D. Quanto maior for a quantidade de rolhas que são efetivamente de classe abaixo melhor, se existirem rolhas da classe é negativo pois serão vendidas por um preço inferior ao que valem e a existência de defeitos é problemático pois demonstra a ineficácia da escolha. No *Anexo D.VI* encontram-se os resultados obtidos em cada amostra para cada classe e na *Tabela 5.24* estão resumidos esses valores:

**Tabela 5.24 - Percentagens encontradas nas saídas de Classe fraca das máquinas EE**

Classe amostrada	% Classe	% Classe abaixo	% Defeito
A	32,1%	52,0%	15,9%
A/B	14,8%	73,6%	11,6%
B	22,8%	55,6%	21,6%
B/C	31,0%	53,8%	15,2%

Para saber se o tamanho das amostras são suficientemente representativas utilizou-se a norma ISO 2859-1, também conhecida por *Military Standard*, para a sobre o procedimento de amostragem para a inspeção de atributos. Na *Tabela 5.25* encontra-se, segundo a norma, para a dimensão do lote e nível de inspeção qual é a letra correspondente e o tamanho mínimo da amostra:

**Tabela 5.25 – Norma ISO de amostragem de atributos para inspeção normal**  
[Adaptado: ISO (1999)]

Dimensão do lote (N)	Nível geral de inspeção			Letra	Tamanho da Amostra
	I	II	III		
2 a 8	A	A	B	A	2
9 a 15	A	B	C	B	3
16 a 25	B	C	D	C	5
26 a 50	C	D	E	D	8
51 a 90	C	E	F	E	13
91 a 150	D	F	G	F	20
151 a 280	E	G	H	G	32
281 a 500	F	H	J	H	50
501 a 1200	G	J	K	J	80
1201 a 3200	H	K	L	K	125
3201 a 10.000	J	L	M	L	200
10.001 a 35.000	K	M	N	M	315
35.001 a 150.000	L	N	P	N	500
150.001 a 500.000	M	P	Q	P	800
500.001 ou superior	N	Q	R	Q	1.250
				R	2.000

Para determinar o tamanho do foram utilizados os valores registados na produção para o período que foi feita a amostragem. A verificação se a quantidade amostrada foi suficiente, segundo um nível de inspeção II, encontra-se na *Tabela 5.26*:

**Tabela 5.26 – Verificação da quantidade amostrada segundo a norma ISO 2859-1**

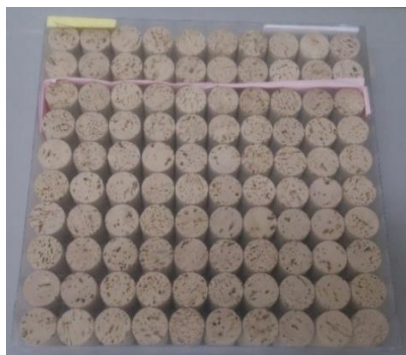
Classe amostrada	Tamanho do Lote (N)	Letra correspondente à dimensão	Tamanho mínimo da amostra	Quantidade Amostrada
<b>A</b>	155.527	P	800	<b>1000</b>
<b>A/B</b>	8.372	L	200	<b>250</b>
<b>B</b>	73.885	N	500	<b>800</b>
<b>B/C</b>	32.672	M	315	<b>400</b>

Para iniciar a reprogramação das máquinas de modo a escolherem como é pretendido foi necessário numa primeira fase começar pelo artigo que tem mais procura. A *Tabela 5.27* representa a procura real por classe visual existente em 2014:

**Tabela 5.27 – Procura existente para cada classe em 2014**

Classe	AA	A	A/B	B	B/C	C
<b>Procura (%)</b>	1,8%	15,9%	12,6%	31,0%	13,6%	25,1%

Abordou-se então a classe B porque é a mais representativa na reprogramação das máquinas. Como a lavação cl2000 representa aproximadamente 74% da procura então decidiu-se abordar inicialmente em **B cl2000** e apenas futuramente alargar a outros produtos. Para esse produto criou-se um padrão visual, *Figura 5.24*, do limite para que possa ser aprovada a Classe fraca. Admitiu-se que no máximo apenas 20% das rolhas podem ser de classe D ou Defeito e os restantes 80% tem de pertencer a C, só assim é diluído à frente em C cl2000 na embalagem.



**Figura 5.24 - Padrão de Classe visual criado para a Classe abaixo de B cl2000**

Foram afinadas todas as máquinas do processo de modo a cumprirem a nova especificação e o critério definido para determinar que uma máquina encontrava afinada é existirem 3 amostras consecutivas de classe abaixo aprovadas. Após as máquinas se encontrarem afinadas, o novo trabalho foi normalizado e os operadores foram treinados de modo a cumprirem a nova norma.

No início de Março de 2015, a nova norma de trabalho começou a ser aplicada corretamente em todos os turnos e em todas as máquinas para a classe B cl2000. Para o período correspondente de Março a Maio de 2015, foram realizadas 301 amostras de classe fraca pelos operadores responsáveis pela classificação das amostras de rolhas. 247 das 301 amostras foram aprovadas, o

que corresponde a 82,06%, e 54 foram rejeitadas por apresentarem mais de 20% de classe D ou defeitos, ou seja, 17,94%. Na *Tabela 5.28* estão apresentadas as quantidades e as percentagens obtidas na Escolha Eletrónica para a classe B cl2000 para o mesmo período:

**Tabela 5.28 – Resultados obtidos para a classe B cl2000 no período de Março a Maio de 2015**

	Classe boa	Classe abaixo aprovada	Classe Abaixo rejeitada	Defeitos	Apara	Total
Quantidade (mil rolhas)	13.701,1	353,2	74,4	977,3	112,5	<b>15.218,5</b>
Percentagem representativa	90,03%	2,32%	0,49%	6,42%	0,74%	<b>100,0%</b>

Durante o mesmo período foram embaladas 9.183,1 mil rolhas de C cl2000 a classe em que B cl2000 é diluído na Embalagem, ou seja, o ganho de produtividade real nesse produto será:

$$\text{Aumento de Produtividade real} = \frac{\text{Classe abaixo B cl2000 aprovada}}{\text{Classe C cl2000 embalada}} = \frac{353,2}{9.183,1} = 3,85\%$$

Os resultados obtidos para a classe visual B com a lavação cl2000 apresentam um benefício de produtividade de 3,85% na classe visual C cl2000. De modo a que a nova norma abranja outros produtos do sistema terá de ser criado um padrão para as outras classes abaixo, os operadores deverão receber formação sobre as alterações na atividade de classificação e a criação de um *buffer* para armazenar esta classe ajudaria a que o WIP se mantivesse visualmente bem assinalado e exposto para fácil movimentação. O ganho potencial em termos da produtividade na implementação no resto das classes desta nova atividade pode ser significativo e originar grande rentabilidade.

- **Organização do trabalho e criação de *Standard Work***

As alterações realizadas na organização do trabalho requereram utilizar a ferramenta *Standard Work* e a construção das respetivas normas. No *Anexo D.VII* está disponibilizada a norma SW para a nova atividade do Comboio logístico e para o novo trabalho de classificação da classe abaixo, encontra-se disponibilizada a norma no *Anexo D.VIII*.

Outros exemplos de alterações na organização do trabalho que foram implementadas no sistema são:

- Manutenção de um operador sempre disponível em vigilância para resolver encravamentos de máquinas, principalmente em dias com maior tendência como quando existe excesso de humidade no ar.
- Deslocamento de um operador excedente de outra atividade que possa substituir sempre que haja alguma falta de algum operador no processo.
- Quando operador logístico se encontrar em pausa de almoço, o operador classificador de rolhas ou o operário da Lavagem devem recorrer à empilhadora e abastecerem as máquinas.

- Alocação de máquinas prioritárias a determinados calibres o que permitiu a redução de tempo na mudança de calibre.
- Manter uma a duas máquinas exclusivas a tratarem de produto originado de reprocessamento, permitindo que se origine um fluxo contínuo para o produto reprocessado.

- **Melhorias na secção e fichas de melhoria**

Realizaram-se algumas melhorias locais dentro da secção, como o exemplo da substituição do tubo de abastecimento das máquinas em estrela na EE por um tubo extensível. Esta melhoria permitiu desencravar as máquinas com maior facilidade e não danificar a máquina ou o tubo sempre que ocorra algum encrave. Encontra-se representada na *Figura 5.25* a melhoria onde no lado esquerdo o tubo está estendido e no lado direito o tubo está na posição normal:



**Figura 5.25 – Melhoria realizada nas máquinas em estrela**

Existiram outras melhorias aplicadas na secção, as quais foram feitas fichas de melhoria, presentes no *Anexo D.IX*. Encontram-se disponibilizadas no quadro “*Kaizen*” todas as fichas de melhoria da secção para consulta por parte dos operadores.

Um projeto de melhoria que possivelmente poderia ser benéfico em termos ergonómicos para os operadores que carregam alcofas de PNC da Escolha Eletrónica até aos cestos de produto a reprocessar é a utilização de um equipamento tal como sugerido na *Figura 5.26*. O catálogo da empresa *KAISER+KRAFT* possui soluções de sistemas de transporte de cargas com elevação electro-hidráulica, embora o investimento necessário para adquirir estes equipamentos seja superior a 3.400€. Este projeto de melhoria ou solução similar poderá ser explorado futuramente, após a realização de um estudo que valide a mais-valia da substituição do sistema de transporte utilizado atualmente.

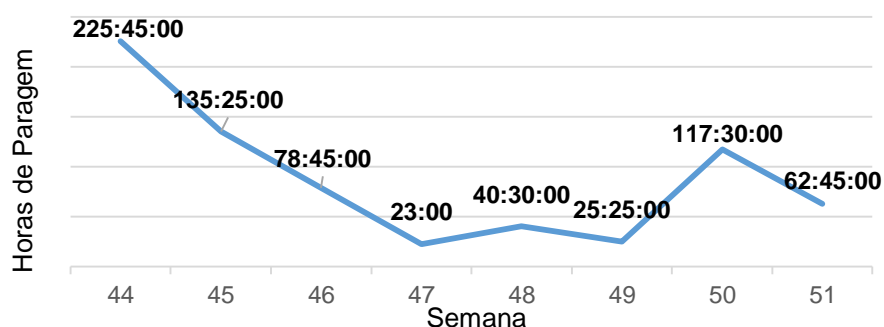


**Figura 5.26 – Equipamento de transporte sugerido para transporte de PNC na EE**

### 5.2.4. Atuar com 6-Sigma sobre a variabilidade

- **Medição de paragens e avarias**

Na última semana de Outubro de 2014, semana 44, começou a ser aplicado novo registo e o indicador das paragens existentes na Escolha Eletrónica. Com os dados recolhidos desde esse momento até à última semana de trabalho do ano, equivalente à semana 51 de 2014, foi efetuado o estudo seguinte. A *Figura 5.27* apresenta a evolução das paragens até à última semana de 2014:



**Figura 5.27 – Horas paradas na EE da semana 44 até 51 em 2014**

Com base na informação recolhida nos registos, sabe-se que 605,5 horas das 709 horas contabilizadas em paragens durante o período anterior correspondem a avarias, ou seja, 85,4% do tempo total de paragem. Logo decidiu-se estudar melhor as avarias existentes nas máquinas e assim saber onde poder atuar para reduzir a causa principal das paragens. As causas das avarias foram divididas em 7 grupos distintos. Na *Tabela 5.29* encontram-se representados, para cada grupo de avarias, o tempo de paragem ocorrido nas semanas 44 até à 51 de 2014:

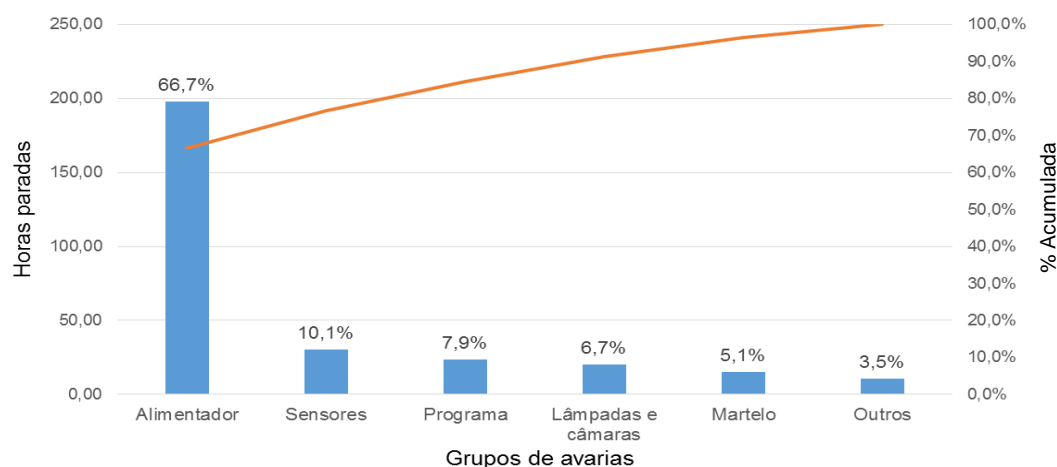
**Tabela 5.29 – Tempo de Paragem existente em cada avaria**

Grupos de Avarias	Tempo de paragem	Peso da avaria
Placa	308:00:00	50,9%
Alimentador	198:00:00	32,7%
Sensores	30:05:00	5,0%
Programa	23:35:00	3,9%
Lâmpadas e câmaras	20:05:00	3,3%
Martelo	15:10:00	2,5%
Outros	10:35:00	1,7%
<b>Total</b>	<b>605:30:00</b>	<b>100,0%</b>

Analisando a tabela anterior é possível verificar que a avaria mais representativa é causada pela Placa, mas decidiu-se considerar como esporádica pois ocorre menos que uma vez por ano e coincidentemente ocorreu no período em estudo. Para solucionar esta avaria é necessário recorrer à importação de peças, logo implica um tempo de paragem elevado devido ao elevado tempo de espera pelas peças encomendadas e não é possível disponibilizar em *stock* pois possuem um valor demasiado elevado para se manterem inativas em armazém a maior parte do tempo.

Dentro do grupo “Outros” encontram-se avarias nos Contratores, na Girafa, nos Rolos e no Vácuo cujas paragens são pouco representativas pois apenas provocaram uma paragem de

aproximadamente 10,5h, correspondente a 1,7% do peso total das avarias. Removeu-se então o tempo resultante de avarias na Placa e assim, na *Figura 5.28*, construiu-se um diagrama de Pareto que permite entender melhor as causas mais representativas:



**Figura 5.28 – Diagrama de Pareto com as causas das avarias na Restrição**

A maior causa identificada de avarias foi a de Alimentador. Foi comunicada essa informação ao reparador das máquinas qual deveria ser o seu foco de modo a iniciar um plano de ação e conseguir minimizar essa avaria responsável por 66,7% faz horas paradas com avarias.

Como o processo é constituído por 15 máquinas fez-se uma *Performance* comparativa para permitir saber como encontra o estado atual em termos de disponibilidade e de produtividade de cada uma das máquinas. Os valores para os dois parâmetros encontram-se disponíveis para cada uma das máquinas na *Tabela 5.30*:

**Tabela 5.30 – Performance de cada máquina em termos de Disponibilidade e Produção**

Disponibilidade		Produtividade	
Máquina	Tempo de Paragem por avaria (horas)	Máquina	Produção (milhares de rolhas)
3	06:40:00	13	8.623
6	09:20:00	6	8.458
2	10:40:00	2	8.356
1	20:30:00	3	8.296
13	28:40:00	7	8.195
7	34:15:00	5	8.169
5	46:20:00	1	8.083
4	48:15:00	4	7.936
15	56:25:00	14	7.809
10	113:10:00	11	7.252
12	150:10:00	15	7.101
14	154:45:00	10	6.714
11	157:30:00	12	6.587
9	183:50:00	9	6.385
8	242:30:00	8	5.596

É possível deparar que existe alguma relação entre os dois parâmetros pois as máquinas mais disponíveis são mais fiáveis e afetam positivamente a produtividade obtida. O foco do reparador deste processo inicialmente, para elevar o desempenho, deve ser mantido nas três máquinas que apresentaram piores resultados da tabela e posteriormente abranger as restantes.



- **Orientadores Vimétrica e redução de defeitos**

Um problema encontrado no sistema, originado na colagem dos discos aos corpos, é a fraca eficácia de orientadores dos discos, o que resulta de uma grande percentagem ser colado com a face pior voltada para cima e que traz consequências negativas na qualidade visual das rolhas e nos defeitos. A empresa Vimétrica apresentou uma solução de orientadores novos e instalou em algumas máquinas o novo equipamento para teste. No lado esquerdo da *Figura 2.29* encontra um exemplo de um orientador atual de discos e no lado direito a solução apresentada pela Vimétrica:



**Figura 5.29 – Substituição de orientadores de discos**

Fez-se um estudo comparativo, durante duas semanas, em mais de 10 milhões de rolhas processadas na Escolha Eletrónica e compararam-se as classes visuais B e C que passaram pelas máquinas de colar que possuíam o novo sistema de orientação de discos implementado com as que apresentam o sistema atual de orientação. O produto que foi processado nas máquinas equipadas com Vimétrica foi rastreado de modo a distinguir do produto processado nas restantes máquinas. Os resultados obtidos em termos de produtividade encontram-se apresentados na *Tabela 5.31*:

**Tabela 5.31 – Comparação da Produtividade com ou sem orientadores Vimétrica**

Lavação	Classe Escolhida	% Classe Boa	% Classe Fraca	% Defeitos	% Aparar
cl2000	B Vimétrica	90,6%	2,9%	6,0%	0,5%
	B	90,4%	2,8%	6,0%	0,8%
	<b>diferença</b>	<b>0,2%</b>	<b>0,1%</b>	<b>0,0%</b>	<b>-0,3%</b>
	C Vimétrica	88,6%	-	11,1%	0,3%
	C	85,5%	-	14,1%	0,4%
	<b>diferença</b>	<b>3,1%</b>	<b>-</b>	<b>-3,0%</b>	<b>-0,1%</b>
cerveja	B Vimétrica	90,3%	3,1%	5,9%	0,7%
	B	90,1%	2,9%	6,1%	0,9%
	<b>diferença</b>	<b>0,2%</b>	<b>0,2%</b>	<b>-0,2%</b>	<b>-0,2%</b>
	C Vimétrica	87,8%	-	11,4%	0,8%
	C	86,5%	-	12,7%	0,8%
	<b>diferença</b>	<b>1,3%</b>	<b>-</b>	<b>-1,3%</b>	<b>0,0%</b>

Com base nos resultados obtidos é notório que a introdução dos novos equipamento afetam positivamente a produtividade na classe visual C, pois a classe fraca é misturada com os defeitos e os discos ao serem colados do lado certo irão melhorar a qualidade visual dos topos das rolhas. Era também expetável que a lavação cl2000 apresentasse melhores resultados que a cerveja pois utiliza produtos químicos que disfarçam melhor os defeitos devido à sua tonalidade. Na *Tabela 5.32* são

apresentados os resultados de um estudo semelhante mas no qual foram comparadas as amostras recolhidas pelos operadores da qualidade visual para as mesmas classes:

**Tabela 5.32 - Comparação da Qualidade com ou sem orientadores Vimétrica**

Lavação	Classe Escolhida	% B	% C	% Defeitos + D
ci2000	B Vimétrica	88,4%	10,8%	0,8%
	B	88,3%	11,1%	0,6%
	diferença	0,1%	-0,3%	0,2%
cerveja	B Vimétrica	89,7%	9,9%	0,4%
	B	88,8%	10,7%	0,5%
	diferença	0,9%	-0,8%	-0,1%
Lavação	Classe Escolhida	% C	% D	% Defeitos
ci2000	C Vimétrica	97,3%	2,0%	0,7%
	C	96,1%	2,8%	1,1%
	diferença	1,2%	-0,8%	-0,4%
cerveja	C Vimétrica	97,7%	1,4%	0,9%
	C	97,0%	2,0%	1,0%
	diferença	0,7%	-0,6%	-0,1%

Pelos dados das amostras apresentados na tabela anterior é possível verificar que as rolhas processadas nas máquinas com os orientadores Vimétrica apresentam melhor qualidade visual e a percentagem de defeitos e de classe D (vendida como defeito) reduziu praticamente em todas as classes e lavações. É também visível que a classe C apresentou melhores resultados logo deve-se alocar prioritariamente as máquinas com os novos orientadores de discos Vimétrica ao processamento da classe visual C.

#### • Formação de operadores

Alguns dos problemas encontrados no processo podem ser resultantes da falta de informação dos operadores. Decidiu-se organizar, em conjunto com o reparador das máquinas de Escolha Eletrónica, uma ação de formação.

Realizou-se ao longo de um mês recorrendo a uma hora extra de formação diariamente em todos os turnos. Os temas abordados durante a formação foram:

- Ajustes mecânicos para minimizar as paragens de Alimentador, responsável por 66,7% do tempo de paragem total por avarias. Esta informação permitiu também aumentar a eficiência pois quando bem aplicado reduz os encaves e as trocas de calibre nas máquinas;
- Posicionamento das lâmpadas de leitura do corpo das rolhas e ajuste de sensores que ajudou a reduzir as falsas rejeições e tornou as máquinas capazes de ler mais eficientemente o produto;
- Afinação de parâmetros dos programas das máquinas foi essencial ser transmitida aos operadores para redução de defeitos e melhoria da qualidade visual das rolhas;



- Pneumática geral para tornar os operadores mais autônomos quando o reparador das máquinas não estiver disponível e permitir reduzir o tempo causado pelas paragens;
- Teste geral para verificar diariamente se todas as máquinas cumprem os requisitos de bom funcionamento ou se necessitam de afinações.

A ação de formação iniciou-se em simultâneo com todos os turnos em sala com formação teórica para todos os temas abordados e posteriormente realizou-se uma componente prática individualmente em cada turno nas próprias máquinas como exemplificado na Figura 5.30:



**Figura 5.30 – Exemplificação da componente prática da formação**

Deu-se início à formação na penúltima semana de Fevereiro e terminou no final da segunda semana de Março de 2015. Para estudar o impacto da mesma, na *Tabela 5.33*, estão apresentados alguns indicadores importantes tanto ao nível da produtividade como da qualidade para o processo:

**Tabela 5.33 – Impacto da formação na EE**

	Produtividade		Qualidade		
	Quantidade processada (mil rolhas/dia)	Média do OEE (%)	Média da % de defeitos	Tempo parado por Avarias (h)	Rolhas repassadas (%)
Antes da Formação	Janeiro				
	2.893,9	62,17%	9,7%	198h	0,38%
	Fevereiro				
	3.129,9	68,13%	10,8%	91h30	0,19%
Após Formação	Março				
	3.216,3	76,88%	9,2%	29h30	0,01%
	Abril				
	3.174,7	77,07%	8,5%	14h15	0,07%

Aliada às restantes ferramentas de *Lean* e de 6-Sigma utilizadas durante o mesmo período, é possível verificar que após a formação o processo obteve melhorias de produtividade com a subida do OEE e da quantidade de rolhas processadas diariamente. Com o maior conhecimento sobre as máquinas foi possível prevenir avarias e reduzir o tempo de paragem. A informação fornecida aos operadores sobre a reprogramação, afinação e outros ajustes possibilitou a redução das falsas rejeições, previamente identificadas como problemáticas, e em conjunto com outras ações de redução dos defeitos no produto que abastece o processo foi reduzida a percentagem de defeitos.

- **SPC (cartas de controlo EE e capacidade do processo)**

A carta de controlo que demonstrou ser mais adequada no controlo do número de unidades não-conformes das máquinas de Escolha Eletrónica é a carta  $np$  onde todas as amostras tem dimensão,  $n$ , constante. Em primeiro lugar, para que os limites de controlo calculados sejam bons estimadores do processo, segundo Quesenberry (1997), a relação entre a dimensão da amostra e o número de amostras preliminares retiradas,  $m$ , deve seguir a *Fórmula 5.10*:

$$m \geq \frac{400}{n-1} \quad (5.10)$$

Decidiu-se recolher aleatoriamente amostras de 50 rolhas cada, logo:

$$m \geq \frac{400}{50-1} = \frac{400}{49} = 8,16 \approx 9$$

Para se obter um bom estimador dos limites de controlo foram então retiradas 9 amostras de 50 rolhas em cada uma das 15 máquinas do processo e para cada uma das classes (A, AB, B, BC e C) escolhidas. No *Anexo E.I* encontram-se os resultados da amostragem com o número de produtos não-conformes ou defeitos encontrados em cada amostra realizada, sabendo que as máquinas 12 a 15 não estão preparadas para escolher a classe visual A.

No cálculo da linha central das cartas de controlo  $np$  utiliza-se a *Fórmula 5.11* (Pereira & Requeijo, 2012):

$$LC_{np} = n\bar{p} \quad (5.11)$$

$$\text{onde } n\bar{p} = \frac{n*(p1+p2+\dots+p3)}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m np_i}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{m}$$

Após ser calculada a linha central da carta é possível determinar os limites de controlo recorrendo às *Fórmulas 5.12 e 5.13*. Após estarem definidos os limites, caso exista algum valor fora dos respetivos limites de controlo deve-se remover e proceder á iteração para calcular de novo.

$$LSC_{np} = n\bar{p} + 3 * \sqrt{n\bar{p} * (1 - \bar{p})} \quad (5.12)$$

$$LIC_{np} = \max (0 ; n\bar{p} - 3 * \sqrt{n\bar{p} * (1 - \bar{p})}) \quad (5.13)$$

A característica existente no processo atual é “quanto-menor-melhor”, ou seja, o parâmetro que é utilizado para medir a capacidade de um processo é o Índice de Capacidade,  $C_{pk}$ , que considera a dispersão e a localização da média. Esse parâmetro é dado pela *Fórmula 5.14* (Pereira & Requeijo, 2012; Oakland, 2007):

$$C_{pk} = \min ((C_{pk})_I ; (C_{pk})_S) \quad (5.14)$$

$$\text{onde } (C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}$$

Para Pereira & Requeijo (2012), como o valor tem de ser inferior ao LSE, logo  $C_{pk} = (C_{pk})_S$ . Para o processo ser capaz nas especificações técnicas unilaterais, apenas é necessário que o valor

do indicador  $C_{pk}$  seja maior ou igual a 1,25, embora é desejável que tenha o valor mais elevado possível.

Na Escolha Eletrónica está definido que o limite superior de especificação depende da classe visual escolhida: nas classes A e AB é 0,5 e para as classes B, BC e C é 1,0. Na *Tabela 5.34* encontra-se calculados os valores para a linha central e os limites de controlo de cada carta e o valor correspondente do  $C_{pk}$ . No cálculo do  $C_{pk}$  foi utilizado o valor de  $LC_{np}$  para o  $\mu$  e  $\sqrt{n\bar{p} * (1 - \bar{p})}$  como  $\sigma$  da fórmula. No caso de processo ser capaz, o parâmetro  $C_{pk}$  é igual ou superior a 1,25 e nesse caso a célula da tabela estará representada com a cor verde e a vermelho se não for capaz.

**Tabela 5.34 – Linha central, limites de controlo e capacidade de cada carta do processo**

Classe visual A (LSE=0,5)															
Máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
$LC_{np}$	0,33	0,56	0,56	0,78	0,56	0,56	0,67	0,44	0,56	0,44	0,44				
$LSC_{np}$	2,06	2,78	2,78	3,40	2,78	2,78	3,10	2,44	2,78	2,44	2,44				
$LIC_{np}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
$C_{pk}$	0,10	-0,02	-0,02	-0,11	-0,02	-0,02	-0,07	0,03	-0,02	0,03	0,03				
Classe visual AB (LSE=0,5)															
Máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$LC_{np}$	0,56	0,44	0,44	0,44	0,78	0,44	0,56	0,33	0,44	0,44	0,67	0,22	0,33	0,67	0,67
$LSC_{np}$	2,78	2,44	2,44	2,44	3,40	2,44	2,78	2,06	2,44	2,44	3,10	1,63	2,06	3,10	3,10
$LIC_{np}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_{pk}$	-0,02	0,03	0,03	0,03	-0,11	0,03	-0,02	0,10	0,03	0,03	-0,07	0,20	0,10	-0,07	-0,07
Classe visual B (LSE=1,0)															
Máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$LC_{np}$	0,56	0,78	0,33	0,78	0,78	0,89	0,78	0,78	0,89	0,78	0,89	0,89	0,56	0,56	0,56
$LSC_{np}$	2,78	3,40	2,06	3,40	3,40	3,69	3,40	3,40	3,69	3,40	3,69	3,69	2,78	2,78	2,78
$LIC_{np}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_{pk}$	0,20	0,08	0,39	0,08	0,08	0,04	0,08	0,08	0,04	0,08	0,04	0,04	0,20	0,20	0,20
Classe visual BC (LSE=1,0)															
Máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$LC_{np}$	0,44	0,33	0,67	0,44	0,56	0,78	0,89	0,44	0,56	0,67	0,44	0,56	0,78	0,56	0,56
$LSC_{np}$	2,44	2,06	3,10	2,44	2,78	3,40	3,69	2,44	2,78	3,10	2,44	2,78	3,40	2,78	2,78
$LIC_{np}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_{pk}$	0,28	0,39	0,14	0,28	0,20	0,08	0,04	0,28	0,20	0,14	0,28	0,20	0,20	0,20	0,20
Classe visual C (LSE=1,0)															
Máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$LC_{np}$	0,89	0,67	0,78	0,67	0,89	1,00	0,89	1,00	0,89	0,89	0,89	0,89	0,67	0,44	0,56
$LSC_{np}$	3,69	3,10	3,40	3,10	3,69	3,97	3,69	3,97	3,69	3,69	3,69	3,69	3,10	2,44	2,78
$LIC_{np}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_{pk}$	0,04	0,14	0,08	0,14	0,04	0,00	0,04	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,14	0,28	0,20

Não foi necessário recalculer os limites de controlo, pois todas as amostras recolhidas (*Anexo E.I*) encontravam-se dentro dos limites, logo o processo está sobre controlo estatístico.

Também é possível verificar que, em nenhuma máquina e classe, o processo é capaz de cumprir as especificações atualmente definidas. O *template* das cartas de controlo utilizado, o qual foi disponibilizado nas máquinas do processo para os operadores preencherem segundo o número produtos não-conformes encontrados em cada amostra retirada, está exemplificado no *Anexo E.II*.

- **DPMO (Defeitos Por Milhão de Oportunidades)**

Para Harry & Schoroeder (2000), a existência de defeitos tem um custo da qualidade que pode ser estimado segundo o seu nível de Sigma e as que operam segundo um nível de Sigma abaixo de 3 não se podem tornar competitivas. Já Sproull (2009a) acredita que este custo da qualidade apenas deve ser focado ao nível de Sigma derivado da restrição, porque aí é afetado o rendimento real do sistema. Na *Tabela 5.35* é mostrado, para cada nível de Sigma, o DPMO, a % de defeitos, o custo da qualidade e a taxa de rendimento existentes a longo prazo para processos com comportamento normal:

**Tabela 5.35 - DPMO, % Defeitos, Taxa de Rendimento e Custo da Qualidade para cada Nível de Sigma**  
[Adaptado: Sproull (2009) & Quintaneiro (2014)]

Nível de Sigma	DPMO	% Defeitos	Taxa de Rendimento	Custo da Qualidade
2	308.537,5	30,9%	69,1%	Não aplicável
3	66.807,2	6,7%	93,3%	25-40% das vendas
4	6.209,7	0,621%	99,379%	15-25% das vendas
5	232,6	0,023%	99,977%	5-15% das vendas
6	3,4	0,00034%	99,99966%	< 1% das vendas

Com o resultado das amostras realizadas para obter o número de produtos não-conformes nas cartas de controlo, encontrado no *Anexo E.I*, foram obtidas as percentagens de defeitos de produto que é embalado e expedido para o cliente, apresentadas na *Tabela 5.36*:

**Tabela 5.36 – Percentagem de defeitos encontrados em cada classe de produto**

Classe	Total de Defeitos	Total amostrado	Percentagem
A	53	4950	1,1%
A/B	67	6750	1,0%
B	97	6750	1,4%
B/C	78	6750	1,2%
C	108	6750	1,6%

A informação da tabela anterior permite em conjunto com os valores da procura, existentes na *Tabela 5.27*, calcular a percentagem de defeitos do sistema. Sabe-se que a classe AA é a que tem a especificação mais exigente e sempre que exista algum defeito é voltado a reprocessar todo o produto de novo na máquina, logo assume-se que a sua percentagem seja 0% embora não tenha sido amostrada anteriormente devido à sua baixa representatividade (1,8% da procura total). O seguinte cálculo apresenta a percentagem de defeitos do sistema e o respetivo DPMO:

$$\begin{aligned} \%DEF_{TT} = \%DEF_{AA} * \%Procura_{AA} + \%DEF_A * \%Procura_A + \%DEF_{A/B} * \%Procura_{A/B} + \%DEF_B \\ * \%Procura_B + \%DEF_{B/C} * \%Procura_{B/C} + \%DEF_C * \%Procura_C = 0\% * 1,8\% + 1,1 * 15,9\% + 1,0 * \\ 12,6\% + 1,4\% * 31,0\% + 1,2\% * 13,6\% + 1,6\% * 25,1\% = 1,3\% \end{aligned}$$

$$DPMO = 1.000.000 * 1,3\% = 13.000,0$$

Com a informação da *Tabela 5.35* foi possível definir o nível atual de Sigma do sistema com o valor aproximadamente de 4 e é esperado que tenha uma taxa de rendimento pouco inferior a 99% e o custo da qualidade originado consequente do nível de Sigma é 15%. Para a indústria do caso de estudo, o valor calculado é aceitável pois trata-se de um produto natural e a especificação do cliente permite aceitar defeitos dependendo da categoria do produto adquirida.

### 5.3. Submeter/Subordinar o Sistema à Restrição

No sistema em estudo não foi necessário alterar o atual funcionamento, pois a filosofia *Pull* já previamente era aplicada e a ferramenta DBR da metodologia TOC era utilizada com recurso a *Kanban* em vários processos de modo a “puxar” a produção.

No sistema atual, o responsável pelo planeamento da produção já aplica o DBR, pois os *Kanban* são dimensionados com base na informação obtida da cadência e desempenho que a restrição obteve na semana anterior. Existe antes de cada processo um *buffer* onde é armazenado o produto em curso, embora haja sempre preocupação para que o localizado antes da restrição esteja sempre abastecido de modo a evitar paragens no processo mais crítico que são devido à elevada variabilidade das atividades anteriores no sistema.

No caso de o fluxo de produtos não se encontrar a circular de maneira contínua e o WIP continuar a aumentar na restrição, então nessa situação seria otimizar o *buffer* atual antes da restrição que verificou-se visualmente não ser necessário devido às alterações no desempenho do sistema devido às melhorias realizadas. Como não foi requerido que fossem feitas alterações neste ponto, logo foi reavaliada a restrição que corresponde ao passo seguinte do modelo TLS proposto.

### 5.4. Reavaliar restrição

#### 5.4.1. Elevar desempenho da restrição se o processo não cumprir *Takt Time*

Em primeiro lugar verificou-se se a Escolha Eletrónica é capaz de cumprir o *Takt Time* de 33,88 seg./mil rolas como anteriormente calculado. Se o tempo de ciclo efetivo da restrição se manter com valores inferiores ao *Takt Time*, então a solução deve passar por elevar o desempenho da restrição com a possibilidade de investimento monetário em máquinas, operadores, mudanças de *layout* ou buscar no mercado inovações de modo a melhorar o desempenho atual.

Foi estudado o desempenho obtido no mês de Abril de 2015, data após as melhorias em que as ferramentas utilizadas nas fases anteriores se encontravam bem consolidadas. O OEE médio para o mesmo mês foi 77,07%, retirado da *Tabela 5.33*, e o  $FTT_{total}$  é dado por:

$$FTT_{total} = \frac{\text{Quantidade de produto conforme (mil rolhas)}}{\text{Total processado (mil rolhas)}} = \frac{64.234}{75.044} = 85,60\%$$

O processo opera 23,5 horas diariamente logo, durante os 21 dias de Abril, foram trabalhadas efetivamente 493,5 horas. O tempo de ciclo do processo é calculado por:

$$\text{Tempo de Ciclo} = \frac{75.044}{493,5} = 152,065 \text{ mil rolhas/h} = 23,67 \text{ seg./mil rolhas}$$

O Tempo de ciclo efetivo da EE tendo em conta o FTT existente no processo é:

$$\text{Tempo de Ciclo Efetivo} = \frac{23,67}{0,8560} = 27,65 \text{ seg./ mil rolhas}$$

Está demonstrado que a quantidade de rolhas que efetivamente seguem para o processo seguinte à restrição é muito superior ao exigido pela procura. A diferença entre o *Takt Time* e o Tempo de Ciclo Efetivo é de 7,4 seg./mil rolhas, o que significa que a Escolha Eletrónica passou a ser um processo extremamente eficiente logo não foi necessário elevar o desempenho da restrição com recurso a investimento, ou seja, não se recorreu à quinta fase do modelo TLS proposto.

#### 5.4.2. Identificação da nova restrição se o processo cumprir *Takt Time*

Neste momento é conhecido que o processo cumpre o *Takt Time* do sistema e para que possa ser fechado o 1º ciclo de melhoria do modelo TLS proposto é necessário criar uma atitude de melhoria contínua. Uma ação que pode ser tomada para manter viva essa atitude é a marcação de reuniões semanais sobre panorama dos processos restritivos, onde deve apelar ao espírito crítico e busca de novas melhorias, fazer a monitorização do controlo da restrição e assim se evitar a deterioração das boas práticas anteriormente implementadas. Para evitar a inércia deve ser inserido no sistema auditorias internas que foquem na restrição e façam o controlo do estado do processo em cada auditoria.

Neste momento foi possível iniciar o 2º ciclo de melhoria contínua que corresponde à identificação da nova restrição, ou seja, ao regresso à primeira fase do modelo TLS proposto. O VSM construído anteriormente encontra-se referente à situação encontrada no início do caso de estudo prático, ou seja, aos meses de Setembro e Outubro de 2014. Neste momento com base nos dados reais fornecidos pelos registos para o mês de Abril de 2015, quando as melhorias implementadas no sistema se encontraram bem consolidadas, atualizou-se o VSM e assim determinou-se qual é a nova restrição a explorar. Apenas se for possível deve-se recorrer a um novo exercício de simulação, embora provou-se que para o sistema atual é possível determinar a restrição com a atualização do VSM construído anteriormente.

O desempenho obtido na antiga restrição já se encontra exposto anteriormente, logo apenas será necessário calcular para os restantes processos. As fórmulas agora utilizadas são as mesmas recorridas na construção do primeiro VSM. Sabendo que foi operado durante 21 dias no respetivo mês, é apresentado na *Tabela 5.37* para cada processo: Quantidade processada, produção horária,

Tempo de Ciclo, Taxa de Velocidade de Operação e Eficiência. Para o cálculo Produção Horária foi utilizado o Tempo de Operação da *Tabela 5.13* e na Eficiência o resultado final encontra-se logo em percentagem e foi utilizada a Taxa de Operação Líquida da *Tabela 5.16*.

**Tabela 5.37 – Indicadores de desempenho em Abril de 2015**

Processo	Quantidade Processada (mil rolhas)	Produção Horária (mil rolhas/h)	Tempo de Ciclo (seg./mil rolhas)	Taxa de Velocidade de Operação	Eficiência (%)
Extrusão	46.088,5 + 14.797,5 = 60.886,0	120,806	<b>29,80</b>	$\frac{25,19}{29,80} = 0,8453$	$1,1374 * 0,8453 =$ <b>96,14%</b>
Topejamento	13.680,8	42,030	<b>85,65</b>	$\frac{41,05}{85,65} = 0,4793$	$1,0326 * 0,4793 =$ <b>49,49%</b>
Colagem	54.220,8	120,652	<b>29,84</b>	$\frac{21,94}{29,84} = 0,7353$	$1,1215 * 0,7353 =$ <b>82,46%</b>
Retificação	59.906,7	121,391	<b>29,66</b>	$\frac{20,87}{29,66} = 0,7036$	$1,0213 * 0,7036 =$ <b>71,86%</b>
Lavação	55.290,0	113,485	<b>31,72</b>	$\frac{22,54}{31,72} = 0,7106$	$1,0345 * 0,7106 =$ <b>73,51%</b>
Embalagem	54.577,0	123,757	<b>29,09</b>	$\frac{23,40}{29,09} = 0,8044$	$1,1429 * 0,8044 =$ <b>91,93%</b>

Existiram alterações no *Lead Time* atual em relação ao encontrado na situação inicial, devido à melhor eficiência dos processos do sistema. Na *Tabela 5.38* encontram-se os novos valores encontrados para o *Lead Time* após rastrear um lote de produto em Abril de 2015:

**Tabela 5.38 – Lead Time entre atividades do sistema em Abril**

Movimentação de produto	Lead Time (horas)
Armazém de Granulado Rosa → Extrusão (Estabilização)	24,0 h
Extrusão → Topejamento (24% do fluxo)	8 h * 0,24 = 1,9 h
Topejamento → Colagem (24% do fluxo)	5 h * 0,24 = 1,2 h
Extrusão → Colagem (76% do fluxo)	10 h * 0,76 = 7,6 h
Colagem → Retificação	16,0 h
Retificação → Lavação	20,0 h
Lavação → Escolha Eletrónica	16,0 h
Escolha Eletrónica → Embalagem	12,0 h
Embalagem → Armazém de Produto Acabado	0,05 h

Para concluir toda a informação necessária para atualizar o novo VSM ainda é necessário saber quais foram as percentagens do destino do produto processado à primeira no ponto em que existe refluxos no sistema, ou seja, na Escolha Eletrónica. Nos meses de Setembro e Outubro de 2014, o produto que seguia diretamente para embalar correspondia a 86,8% e aumentou para 88,7% em Abril de 2015, o produto para reprocessar era aproximadamente 9,0% e atualmente é 7,5%, a classe abaixo passou de 3,2% para 2,8% e as Aparas mantiveram-se em 1,0% do total processado.

O VSM atualizado para o mês de Abril com base na informação recolhida anteriormente, encontra-se disponível no *Anexo B.III*. Existem várias conclusões retiradas à partida ao comparar com o VSM da situação encontrada 6 meses antes (*Anexo B.I*). Em primeiro lugar depara-se que todos os processos obtiveram melhor desempenho o que pode ser explicado pela melhoria do desempenho da anterior restrição ter estimulado os restantes processos e as capacidades destes já não se encontrarem limitadas, pois anteriormente os processos abrandavam de ritmo para acompanhar a cadência da restrição. O tempo de ciclo de todos os processos passou a encontrar-se com valores inferiores ao *Takt Time*, logo o orçamento das vendas passou a ser cumprido e implica que agora a logística deve explorar o mercado de modo a aumentar ainda mais a procura. Foi determinado que a atual restrição é a Lavação e é neste processo que se deve manter o foco.

Na Tabela 5.39 encontram-se os tempos de ciclo dos processos do sistema no mês de Maio de 2015:

**Tabela 5.39 – Tempo de Ciclo de cada atividade em Maio**

Processo	Quantidade Processada	Produção Horária (mil rolhas/h)	Tempo de Ciclo (seg./mil rolhas)
Extrusão	57.151	119,065	<b>30,24</b>
Topejamento	12.630	40,742	<b>88,36</b>
Colagem	53.898	125,930	<b>28,59</b>
Retificação	57.919	123,232	<b>29,21</b>
Lavação	49.475	107,705	<b>33,42</b>
Embalagem	51.859	123.474	<b>29,16</b>

Para a Escolha Eletrónica, anterior restrição, o FTT e os Tempos de ciclo foram:

$$FTT_{total} = \frac{59.587,4}{68.264,4} * 100 = 87,29\%$$

$$Tempo\ de\ Ciclo = \frac{3.600}{\frac{68.264,4}{20*23,5}} = \frac{3.600}{145.243} = 24,79\text{ seg./mil rolhas}$$

$$Tempo\ de\ Ciclo\ Efetivo = \frac{24,79}{0,8729} = 28,40\text{ seg./mil rolhas}$$

Goldratt & Cox (2004) referem a importância de se evitar a inércia de modo a evadir do deterioramento dos resultados obtidos nos ciclos de melhoria seguintes. Devem ser tomadas medidas sempre que se verificar esse efeito. É possível observar que, em Maio, ocorreu uma baixa de rendimento em praticamente todo o sistema. O aumento do tempo de ciclo na antiga restrição é explicado pelo tempo de ciclo dos processos que abastecem esta terem aumentado, o que provocou paragens na EE devido à falta de abastecimento das máquinas do processo. É necessário, em simultâneo com a melhoria da nova restrição, manter o controlo sobre o processo para que não se verifique esta detioração nos meses seguintes e de modo a que, quando for aumentado o desempenho dos processos anteriores, a Escolha Eletrónica não volte a ser de novo a restrição. É notório que a Lavação continua a ser o processo com maior tempo de ciclo.



### 5.4.3. Explorar restrição no 2º ciclo de melhoria contínua

Na abordagem do segundo ciclo de melhoria contínua o tempo restante disponível para a implementação foi insuficiente para obter resultados concretos de melhoria na nova restrição, logo apenas foi possível definir um plano de modo a explorar a mesma.

Foram encontradas duas oportunidades de aplicação de *Lean* na nova restrição. É expetável que estas melhorias sejam benéficas não só em termos ergonómicos como eliminem o *Muda* das deslocações. O tempo gasto na atividade de abastecimento das máquinas de Lavação deverá reduzir com a:

- Substituição das rodas dos paloxes por outras que provoquem menos atrito no chão permitindo que se desloque o produto mais rapidamente e os operadores não necessitem de fazer tanto esforço no deslocamento de paloxes manualmente.
- Criação de uma “via rápida” na plataforma de lavação, consistindo na substituição de uma faixa de chão por um menos rugoso.

Uma melhoria que foi possível de aplicar é a criação de um bastão para abrir paloxes. Esta melhoria permitiu reduzir o tempo de descarga de produto, pois passou a ser possível abrir os paloxes de produto sem necessidade de sair do empilhador. Na *Figura 5.31* encontra-se a respetiva ficha de melhoria:

<b>2015_TLESC_M0001</b>		<b>Ação:</b> Abertura Fácil dos Paloxes da Lavação a partir do Empilhador		
<b>Data:</b> 19/05/2015		<b>Equipa:</b> Manutenção		<b>Responsável da Equipa:</b> Hugo Santos
<b>1. PROBLEMA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tempo de descarga de paloxes em cestos elevada devido à necessidade de sair do empilhador, de alinhar os paloxes em fila e transportar escadote desde o armazém dos produtos de limpeza até aos cestos.</li> <li>Falta de segurança do operador na abertura de paloxes</li> </ul>		<b>4. ANTES</b> 		
<b>2. CAUSA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Necessidade de sair do empilhador, de utilizar escadote e de alinhar paloxes em fila durante a atividade de descarga de paloxes em cestos de produto.</li> </ul>		<b>5. DEPOIS</b> 		
<b>3. SOLUÇÃO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Criação de bastão, que se encontra acessível no empilhador, adaptado ao manipulo de abertura de paloxes que permite apenas com um movimento abrir paloxes sem necessidade de sair do empilhador.</li> </ul>				

**Figura 5.31 – Ficha da melhoria criada na Lavação**

Verificou-se também que o trabalho dos operadores do processo necessita de ser normalizado. Para resolver este problema iniciou-se a criação de um novo *Standard Work* denominado por Sempre e Quando. Esta norma irá esclarecer qual a ação que deve ser tomada em cada situação que ocorra no processo. Quando a norma estiver concluída é esperado que os operadores se encontrem mais informados sobre qual é a solução mais correta para cada problema e que assim se impeça a ocorrência de erros que possam afetar o desempenho do processo.

De modo a melhorar a componente de 6-Sigma foi planeado a criação de novas cartas de controlo  $\bar{X}$  e S, que permitam controlar a média e amplitude da humidade das rolhas à saída do processo. Para o cálculo dos limites de controlo serão recolhidas 30 amostras em cada uma das 6

máquinas de forma aleatória e será medida a humidade após 30 minutos do término do processo, período em que esta variável se encontra estabilizada. Até este momento apenas era utilizado no processo cartas de pré-controlo, nas quais os operadores registavam a humidade em cada lavagem embora não haja protocolo que defina a atuação de modo a reduzir o valor quando se encontra fora da especificação. Além de poderem existir reclamações por parte dos clientes sobre com o não cumprimento da especificação deste parâmetro, também prejudica o rendimento das máquinas de EE se o valor da humidade se encontrar demasiado elevado.

### **5.5. Síntese final dos resultados, principais destaques e sugestões de trabalho futuro**

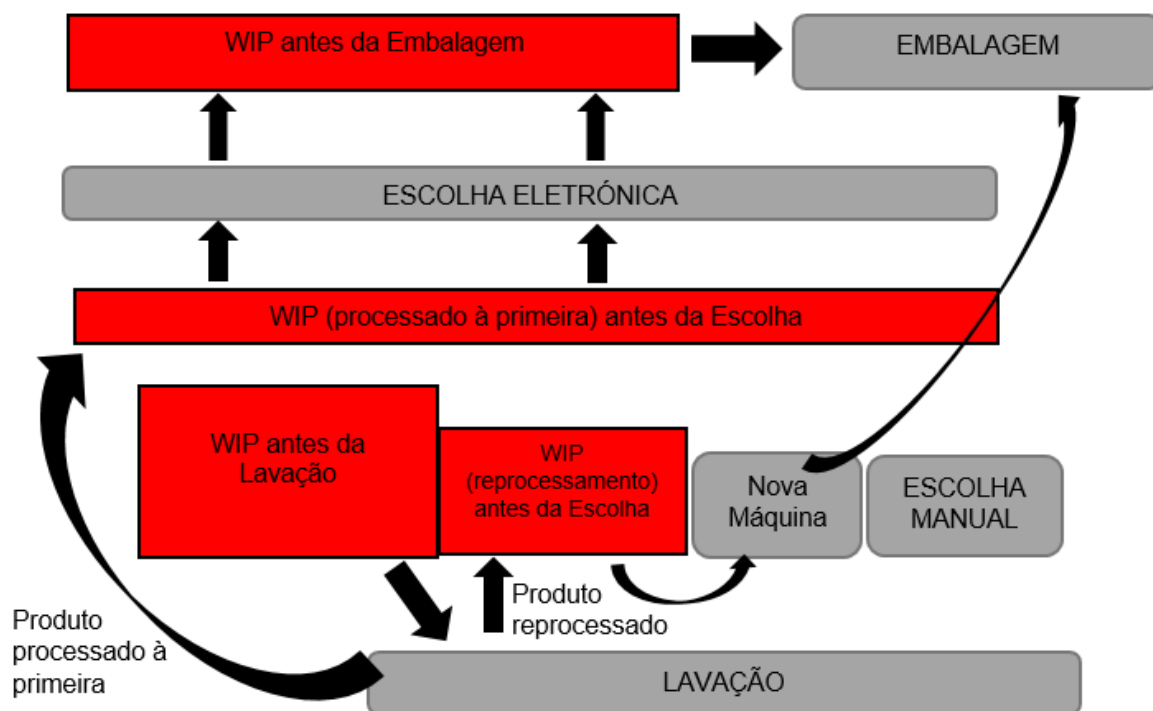
Em suma, na implementação do modelo TLS proposto foi possível aplicar um ciclo completo de melhoria contínua com sucesso e iniciar o planeamento do segundo. No estado inicial em que o sistema foi encontrado observou-se que vários processos não cumpriam o *Takt Time*, logo existia uma restrição interna. Os valores inicialmente calculados para a capacidade nominal encontravam-se distantes da produção real de cada processo, o que indicava tratar-se de um sistema ineficiente.

Após a criação de um VSM e da simulação real no sistema concluiu-se que a Escolha Eletrónica era a restrição do sistema e apresentava um tempo de ciclo efetivo de 39,03 seg./mil rolas. Na exploração do processo foi possível identificar muitas oportunidades de melhoria LSS. Atuou-se sobre elas recorrendo às técnicas *Lean* e de 6-Sigma mais apropriadas. Após as melhorias não foi necessário aplicar o sistema *Pull* e o planeamento da produção já apresentava um funcionamento segundo as ideias da ferramenta DBR da TOC com recurso aos *Kanban*. Na reavaliação da restrição verificou-se que a Escolha Eletrónica além de cumprir o *Takt Time*, passou a ser o processo mais eficiente com um tempo de ciclo efetivo de 26,48 seg./mil rolas após a melhoria. A atualização do VSM demonstrou que a nova restrição passou a ser a Lavagem. No mês seguinte à melhoria, verificou-se uma diminuição da produtividade dos processos que abastecem a antiga restrição o que provocou um deterioração do tempo de ciclo da Escolha Eletrónica passando para 28,40 seg./mil rolas. Mesmo com esta diminuição, o processo continuou a ser aquele com melhor desempenho do sistema. Na exploração da nova restrição, identificou-se algumas melhorias a implementar e ainda foi possível aplicar uma no imediato.

- **Sugestões de trabalho futuro**

A alteração de *layout* na secção de seguida proposta, serviria como possível plano de contingência caso a Escolha Eletrónica volte a ser restrição novamente ou para no futuro a capacidade de todos os processos anteriores seja aumentada e assim a antiga restrição não consiga acompanhar mais a nova cadência. Qualquer alteração de *layout* necessita de muito planeamento logo tem de ser vista como medida a ser aplicada a longo prazo. No espaço existente no lado esquerdo da Escolha Manual, deveria ser colocada uma máquina destinada apenas a reprocessamentos. Na escolha da nova máquina devem ser feitos estudos de repetibilidade e reprodutibilidade, que garantam que o produto defeituoso seja processado com fiabilidade em

apenas uma passagem. Até este momento todos os reprocessamentos necessitam de duas passagens na máquina logo ocupam sempre duas vezes que faz com que a cadência efetiva seja metade da real e, além disso, é gasto tempo em *setup* ao voltar a colocar na mesma máquina o mesmo produto para ser processado novamente. Na *Figura 5.32* encontra-se o novo *layout* sugerido com a introdução da nova máquina e as respectivas movimentações entre os processos:



**Figura 5.32 – Novo *layout* sugerido**

Outras implicações que este novo *layout* possibilitaria são que o produto originado de reprocessamentos estaria segregado do restante e seria visualmente mais fácil de identificar para os operadores, a nova máquina aumentaria a capacidade do processo, mesmo que a cadência da nova máquina seja inferior, efetivamente iria compensar pelo facto de não necessitar de ser repassado o produto novamente na máquina. O operador da Escolha Manual estaria responsabilizado pela vigilância da nova máquina em caso de encraves, logo não seria necessário recorrer à contratação de novos operadores. As movimentações passariam a ser mais curtas o que beneficiaria o operador logístico da secção. O operador da Lavagem conforme fosse descarregando as máquinas do seu processo transportaria logo o produto reprocessado para o local destinado e faria com que o produto fluísse melhor do que acontece atualmente no sistema. É exetável que seriam trazidos grandes benefícios resultantes da alteração, apenas teria de ser investido monetariamente numa nova máquina de escolha, o inventário WIP teria de ser reorganizado antes da Lavagem e seria necessário formar os operários da secção para as alterações no seu trabalho.

Outra sugestão mas neste caso para a melhoria do processo da Lavagem, restrição encontrada no segundo ciclo de melhoria, seria o benefício de aprofundar a componente de 6-Sigma do processo com o desenvolvimento das cartas de controlo planeadas e, além disso, a procura de novas melhorias especialmente na atividade de carga e descarga nas máquinas. A aplicação da

ferramenta SMED, pertencente à metodologia *Lean*, seria uma possível solução de modo a reduzir o tempo de *setup*.

O clima da região em que a fábrica se encontra possui grande diferença térmica ao longo do dia, logo deveria ser feito um forte investimento na climatização de toda a secção de modo a manter a temperatura e humidade controladas. Os processos deveriam estar separados em zonas climatizadas, desde a lavação até à embalagem, o que permitiria cumprir a especificação da humidade que o processo atualmente não cumpre segundo as cartas de pré-controlo já existentes. A monitorização com recurso a cartas de controlo que iniciaram a ser planeadas também será uma mais-valia. Outras vantagens da climatização seriam o aumento do rendimento das máquinas de Escolha Eletrónica que funcionariam com maior fluidez com a humidade mais estável e a melhoria do bem-estar dos operadores com resultados na produtividade pois a secção sem climatização ultrapassa regularmente temperaturas acima de 40°C.

# 6

## Conclusões

Na melhoria do sistema encontrado no caso de estudo agora é possível afirmar que a implementação de modelos integrados nas metodologias TOC, *Lean* e 6-Sigma apresentam-se como uma solução eficaz e recomenda-se para qualquer gestor que queira ver melhorado o desempenho de um sistema produtivo.

Na revisão bibliográfica foram exploradas separadamente as 3 metodologias clássicas de melhoria contínua e foram revistos os modelos existentes que possuem interligação das 3 metodologias exploradas, só assim foi possível construir um modelo TLS híbrido com suporte às melhorias práticas atuais. Separadamente cada uma possui contradições como o exemplo da produção dever ser balanceada em *Lean* ao contrário do defendido pela filosofia TOC em que os processos que alimentam a restrição devem produzir mais de modo a criar um *buffer* para que a restrição nunca deixe de estar abastecida. Outra contradição existente é que um projeto *Lean* procura a melhoria de todos os processos e eliminação de todos os desperdícios e em TOC o foco deve ser apenas na restrição pois, segundo Goldratt & Cox (2004), a melhoria de processos não-restritivos é apenas uma miragem. Da revisão no estado da arte dos modelos existentes, a abordagem que foi mais apreciada de conjugação dos três sistemas de melhoria contínua num modelo híbrido foi o *Ultimate Improvement Cycle* desenvolvido em 2009 por Bob Sproull. Ao adaptar o modelo anterior com os cinco passos da metodologia TOC original de Goldratt, foi proposto um modelo TLS e essa proposta de aplicação metodológica foi testada num sistema existente no caso de estudo.

O modelo TLS proposto é composto por 5 fases. Na primeira fase, após caracterizar o sistema em estudo chegou-se à conclusão que as informações obtidas na comparação do *Current State* do VSM com a Simulação real no sistema foram semelhantes pois em ambos os casos a restrição identificada foi a Escolha Eletrónica. Ainda nesta fase foi analisada a restrição, ao caracterizar melhor o funcionamento do processo e foi mobilizada uma equipa de trabalho com foco na melhoria do processo. A exploração da restrição consistiu na segunda fase do modelo. Em primeiro lugar identificaram-se fontes de desperdício e de variabilidade e dentro dessas oportunidades verificou-se quais eram possíveis de aplicar. Como foram encontradas melhorias LSS, atuou-se no processo com recurso a *Lean* e 6-Sigma. Não foi necessário subordinar o sistema à restrição, pois já se encontrava implementado *Pull* no sistema e era recorrido ao DBR previamente no sistema. Do primeiro ciclo de melhoria, reavaliou-se o sistema e verificou-se que a EE além de cumprir com o *Takt Time*, passou a ser o processo com menor tempo de ciclo. Caso não tivesse ocorrido esta melhoria seria necessário investir monetariamente de modo a elevar o desempenho da restrição, ou seja, ter seguido para a quinta fase do modelo. Para encerrar o primeiro ciclo, retornou-se à primeira fase do modelo TLS proposto ao atualizar o VSM que permitiu concluir que, após a melhoria, a nova restrição passou a ser a Lavação. Iniciou-se então o planeamento e, dentro

do período restante, realizou-se uma melhoria de modo a explorar a restrição do segundo ciclo de melhoria contínua.

Um dos problemas ocorridos no teste do modelo no caso de estudo foi originado por dificuldades de acompanhamento, após a melhoria, da anterior restrição na transição do primeiro para o segundo ciclo de melhoria contínua. Aliado à falta de alimentação da Escolha Eletrónica, derivado do fraco desempenho dos processos anteriores, acabou por reduzir o desempenho do processo embora este se tenha mantido como aquele com melhor desempenho de todo o sistema. É aconselhado que se desenvolva novas iterações de aplicação do presente modelo, na mesma organização, com particular atenção ao controlo da inércia na sua implementação; bem como na disponibilidade de recursos para a melhoria da restrição e ações organizacionais de promoção da melhoria contínua com particular atenção para a identificação de novas oportunidades de melhoria principalmente no processo restritivo.

Outra dificuldade ocorrida durante o caso prático foi a ocorrência de limitações na disponibilidade de recursos para aplicar alguns projetos de melhoria que se traduziram em atrasos na sua implementação. No entanto e apesar das dificuldades foi possível a sua aplicação tendo-se ainda assim alcançado impactos significativos nomeadamente na redução do tempo de ciclo da restrição encontrada inicialmente no sistema de 39,03 seg./ mil rolhas para 28,40 seg./ mil rolhas, eliminando a restrição e com consequências positivas nas eficiências de todo o sistema. É possível considerar que o impacto global da implementação do modelo foi muito positivos e os objetivos definidos inicialmente foram alcançados.

## Referências

---

- Acpor (2015) – Associação Portuguesa de Cortiça. *História da Cortiça*. Disponível em <<http://www.apcor.pt/artigo/historia-cortica.htm>>. Acesso em 28 de Janeiro de 2015.
- AGI (2009). *Combining Lean, Six Sigma, and the Theory of Constraints to Achieve Breakthrough Performance*, White Papper, Goldratt Institute, Disponível em <[www.goldratt.com](http://www.goldratt.com)>. Acesso em 28 de Abril de 2015.
- Aized, T. (2012). *Total Quality Management and Six Sigma*. InTech, Rijeka, Croatia. ISBN 978-953-51-0688-3
- Alukal, G. (2003). *Create a lean, mean machine*. Quality Progress, Vol. 36(4), pp. 29-36.
- Amorim (2015a). *A Cortiça*. Disponível em <<http://www.amorim.com/a-cortica/o-que-e/>>. Acesso em 28 de Janeiro de 2015.
- Amorim (2015b). *Corticeira Amorim*. Disponível em <<http://www.amorim.com/corticeira-amorim/apresentacao/>>. Acesso em 28 de Janeiro de 2015.
- Amorim (2015c). *Relatório de Contas Amorim 2014*. Disponível em <<http://www.amorim.com/investidores/relatorio-e-contas/>>. Acesso em 26 de Abril de 2015.
- Amorimcork (2015a). *Catálogo de Rolhas Amorim&Irmãos, S.A.* Disponível em <<http://www.amorimcork.com/pt/products/catalogue/>>. Acesso em 30 de Janeiro de 2015.
- Amorimcork (2015b). *Para um produto singular, uma empresa com saber*. Disponível em <<http://www.amorimcork.com/amorim-irmaos-cork-stoppers-business-unit/>>. Acesso em 24 de Março de 2015.
- Beck, K., Andres, C. (2004) *Extreme Programming Explained: Embracing Change*, Addison-Wesley, Boston. ISBN: 0-201-61641-6
- Bhardwaj, A., Gupta, A., Kanda, A. (2010) *Drum-Buffer-Rope: The Technique to Plan and Control the Production Using Theory of Constraints*, World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 70, pp. 103-106.
- Bussab, W., Morettin, P. (2013) *Estatística básica*, Saraiva, São Paulo. ISBN: 978-85-02-20799-8
- Bylinski, G. (1983). *An efficiency guru with a brown box*. Fortune 108, pp.102-132. ISBN: 978-88-470-2510-3
- Chiarini, A. (2013). *Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office*, Springer-Verlag, Bologna. ISBN: 978-88-470-2510-3
- Cox, J., Schleier, J. (2010) *Theory of Constraints: Handbook*, McGraw-Hill, New York. ISBN: 978-0-07-166555-1
- Dahlgaard, K., Kristensen, K., Kanji, G. (1995). *Total Quality Management and Education*, Total Quality Management, Vol. 6(5), pp. 445-456. doi: 10.1080/09544129550035116
- Davies, J., Mabin, V. (2009). *Research Issues: Theory of Constraints*, Decision Line, Vol. 40(2), pp. 9-12.
- Delgado, F. (2014). *Melhoria de um Processo Produtivo: O Caso da Corticeira Amorim (Equipar)*. Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico (Taguspark), Oeiras. Obtido de <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/departamentos/deg/dissertacao/2353642490641>

- Deming, W. (1966) *Some Theory of Sampling*, Dover Publications, Inc., New York. ISBN: 0-486-64684-X
- Dinis, M. (2014). *Caso de Estudo: UI-Equipar. Procedimento de Amostragem de Aparas para Quantificação de 2,4,6*. Tese de Mestrado em Engenharia Química e Bioquímica, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. Obtido de <http://run.unl.pt/handle/10362/13746>
- Goldratt, E., Cox, J. (2004) *The goal: A process of ongoing improvement*, Third Revised Edition. The north riverpress, Great barrington, Massachusetts. ISBN: 0-88427-178-1
- Goldratt, E., Fox, R. (1986) *The Race*, Croton-on-Hudson, North River Press, New York. ISBN-13: 978-0884270621
- Gupta, A., Bhardwaj, A., Kanda, A. (2010). *Fundamental Concepts of Theory of Constraints: An Emerging Philosophy*. World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 4 (10), pp. 595-601.
- Harry, M., Schoroder, R. (2000). *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*, Doubleday, New York. ISBN: 0-385-4937-8
- Hines, P., Found, P., Griffiths, G., Harrison, R. (2011). *Staying Lean: thriving, not just surviving*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida. ISBN: 9781439826171
- ISO (1999). *ISO 2859-1: Sampling procedures for inspection by attributes — Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection*. Disponível em <[http://207.248.177.30/mir/uploadtests/22428.177.59.1.ISO\\_2859\\_1\\_1999\\_2.pdf](http://207.248.177.30/mir/uploadtests/22428.177.59.1.ISO_2859_1_1999_2.pdf)>. Acesso em 8 de Fevereiro de 2015.
- Jacobs, R., Chase, B., Aquilano, J. (2009). *Operations and Supply Management*, McGraw-Hill International Edition, New York. ISBN-13: 978-0077228934
- Júnior, J. (2014). *Aplicação de métodos estatísticos para o controlo e melhoria do processo: Produção de Rolhas Técnicas de Cortiça*, Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. Obtido de <http://run.unl.pt/handle/10362/14267>
- Khalid, N., Hashim, A., Salleh, M. (2014). *On Value Stream Mapping and Its Industrial Significance*, Journal of Industrial and Intelligent Information Vol. 2(2), pp. 88-90. doi: 10.12720/jiii.2.2.88-90
- Khandekar, A., Sulakhe, V. (2014). *Six Sigma - The Revival of TQM*. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 3, pp. 50-58. ISSN: 2278 – 0149
- Levinson, W. (2007). *Beyond the Theory of Constraints: How to Eliminate Variation & Maximize Capacity*, Productivity Press, New York. ISBN-13: 978-1563273704
- Lucas, D. (2014) *Simulação de uma linha de produção com elevada variabilidade: uma abordagem Teoria das Restrições/DBR*. Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. Obtido de <http://run.unl.pt/handle/10362/14889>
- Mabin, V., Balderstone, S. (2000). *The World of the Theory of Constraints: a Review of the International Literature*, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida. ISBN-13: 978-1574442762
- Machado, V. (2007). *Perspectivas de desenvolvimento da produção magra*; 8º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECANICA: Disponível em <<http://www.pucp.edu.pe/congreso/cibim8/pdf/25/25-25.pdf>>. Acesso em 19 de Março de 2015.
- Magnier-Watanabe, R. (2011), *Getting ready for kaizen: organizational and knowledge management enablers*, VINE, Vol. 41(4), pp. 428-448. doi: 10.1108/03055721111188520



- Matsuo, M., Nakahara, J. (2013). *The effects of the PDCA cycle and OJT on workplace learning*, The International Journal of Human Resource Management, Vol. 24(1), pp. 195-207. doi: 10.1080/09585192.2012.674961
- McMullen, T. (1998). *Introduction to the theory of constraints (TOC) management system*. St. Lucie Press, Boca Raton, Florida. ISBN: 9781574440669
- Montgomery, D.C. (2005), *Introduction to Statistical Quality Control*, John Wiley & Sons, Inc., New York. ISBN-13: 978-1118146811
- Moura, E. (2012). *Using TOC-TP as a Guide to Integrate Lean, Six Sigma, Process Management and TOC Solutions for Business Improvement*. Disponível em <[http://c.ymcdn.com/sites/www.tocico.org/resource/resmgr/2012\\_conf\\_pdfs/moura\\_eduardo\\_toc-tp\\_as\\_a\\_g.pdf](http://c.ymcdn.com/sites/www.tocico.org/resource/resmgr/2012_conf_pdfs/moura_eduardo_toc-tp_as_a_g.pdf)>. Acesso em 9 de Abril de 2015.
- Oakland, J.S. (2007). *Statistical Process Control*, Butterworth-Heinemann, Oxford. ISBN: 978-0-7506-6962-7
- Okimura, L. (2013). *Uma Exploração dos Modelos de Uso Integrado da Teoria das Restrições, Produção Enxuta e Seis Sigma*. Tese de Mestrado em Engenharia de Produção. Faculdade de Engenharia de Bauru – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, São Paulo. Obtido de <http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/93078>
- Okimura, L., Souza, F. (2012). *Análise dos Modelos de Integração das Abordagens Teoria das Restrições, Produção Enxuta e Seis Sigma: Um Estudo Teórico*. VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Disponível em <[http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg8/anais/T12\\_0504\\_2983.pdf](http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg8/anais/T12_0504_2983.pdf)>. Acesso em 5 de Março de 2015.
- Oriel (2015). *Six Sigma DMAIC*. Disponível em <<http://www.orielstat.com/practice/six-sigma-dmaic-consulting>>. Acesso em 23 de Fevereiro de 2015.
- Pacheco, D. (2012). *Integrando a estratégia de produção com a teoria das restrições, Lean manufacturing e seis sigma: Uma abordagem metodológica*. Tese de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade do Vale do rio dos Sinos, São Leopoldo.
- Pacheco, D. (2014). *Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração*, Production, Vol. 24(4), pp. 940-956. doi: 10.1590/S0103-65132014005000002
- Pegels, C., Watrous, C. (2005), *Application of the theory of constraints to a bottleneck operation in a manufacturing plant*, Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 16(3), pp. 302-311. doi: 10.1108/17410380510583617
- Pereira, Z., Requeijo, J. (2012). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*, FFCT-Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. ISBN: 978-989-97721-0-6
- Pestana, M., Tinoco, I. (2009) *A Indústria e o Comércio da Cortiça em Portugal Durante o Século XX*. Instituto Nacional de Investigação Agrária/INRB, IP. Disponível em <<http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/slu/v17n1/v17n1a01>>. Acesso em 28 de Janeiro de 2015.
- Pinto, J. (2008) *Lean Thinking – Introdução ao pensamento magro* IP. Disponível em <[http://molar.crb.ucp.pt/cursos/2%C2%BA%20Ciclo%20%20Mestrados/Gest%C3%A3o/2009-11/QTGO\\_0911/Artigos/Pensamento%20magro/Introdu%C3%A7%C3%A3o%20ao%20pensamento%20magro.pdf](http://molar.crb.ucp.pt/cursos/2%C2%BA%20Ciclo%20%20Mestrados/Gest%C3%A3o/2009-11/QTGO_0911/Artigos/Pensamento%20magro/Introdu%C3%A7%C3%A3o%20ao%20pensamento%20magro.pdf)>. Acesso em 8 de Abril de 2015.
- Pinto, L. (2012). *Aplicação Lean Seis Sigma (LSS) à Gestão de Projetos*. Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. Obtido de <http://run.unl.pt/handle/10362/8760>
- Pirasteh, R., Farah, K. (2006). *Continuous Improvement Trio: The Top Elements of TOC, Lean, and Six Sigma Make Beautiful Music Together*. APICS Magazine, Vol. 16(5), pp. 31-33.

- Pirasteh, R., Fox, R. (2010). *Profitability With no Boundaries: Focus, reduce waste, contain variability, optimize TOC, Lean, Six Sigma Results*. ASQ Quality Press, Wisconsin. ISBN: 9780873897952
- Pretorius, P. (2014). *Introducing in-between decision points to TOC's five focusing steps*; International Journal of Production Research, Vol. 52(2), pp. 496-506. doi: 10.1080/00207543.2013.836612
- Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook*, The McGraw-Hill Companies, USA. ISBN-13: 978-0071840538
- Qualiplus (2015). *Casos de Sucesso de Excelência 360º*. Disponível em <<http://qualiplus.com.br/project/caso-sucesso-implementacao-excelencia-360/>>. Acesso em 18 de Abril de 2015.
- Quesenberry, C.P. (1997). *SPC Methods for Quality Improvement*, John Wiley & Sons, Inc., New York. ISBN-13: 978-0471130871
- Quintaneiro, S. (2014). *Uma perspectiva Lean Seis Sigma na Melhoria Contínua de um Sistema Logístico de Produção*. Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. Obtido de <http://run.unl.pt/handle/10362/14242>
- Roldão, S., Ribeiro, S. (2007). *Gestão das operações uma abordagem integrada*, Monitor, Lisboa. ISBN: 9789729413735
- Ronen, B., Starr, M. (1990) *Synchronized manufacturing as in OPT: from practice to theory*, COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING, Vol. 18(4), pp. 585-600. doi: 10.1016/0360-8352(90)90017-G
- Rother, M., Shook, J. (1999) *Learning to See Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*, Lean Enterprise Institute. ISBN: 0-9667843-0-8
- Santos, D. (2012) *Application of Theory of Constraints concepts and Lean tools as an innovative approach to the Timor-Leste public procurement process*. Tese de Mestrado em Logística e Gestão de cadeias de abastecimento, Massey University, New Zealand. Obtido de <http://mro.massey.ac.nz/handle/10179/4616>
- Sebrosa, R. (2008). *Modelo de avaliação das condições de aplicação da produção magra: O caso da indústria gráfica*, Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. Obtido de <http://run.unl.pt/handle/10362/1334>
- Simões, A. (2010) *Melhoria do tempo de troca numa linha de prensagem – Aplicação do método SMED*. Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. Obtido de <http://run.unl.pt/handle/10362/6340>
- Singh, R., Shah, D., Gohil, A., Shah, M. (2013). *Overall Equipment Effectiveness (OEE) Calculation – Automation through Hardware & Software Development*, Procedia Engineering, Vol. 51, pp. 579 -584. doi: 10.1016/j.proeng.2013.01.082
- Sirikrai, V., Yenradee, P. (2006) *Modified DBR Scheduling Mechanism for a Non-identical Parallel Machine Flow Shop*, IEMS, Vol. 5(2), pp. 1-14. doi: 10.1080/00207540600584805
- Smith, W. (1998) *Time Out: Using Visible Pull Systems to Drive Process Improvement*. W.W.Norton, New York. ISBN: 978-0-471-19214-5
- Sproull, B. (2009a). *The Ultimate Improvement Cycle: Maximizing Profits through the Integration of Lean, Six Sigma, and the Theory of Constraints*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida. ISBN: 9781420090345
- Sproull, B. (2009b). *Maximizing Profits Through the Integration of Lean, Six Sigma and Theory of Constraints*. Disponível em <<http://www.processexcellencenetwork.com/lean-six-sigma->

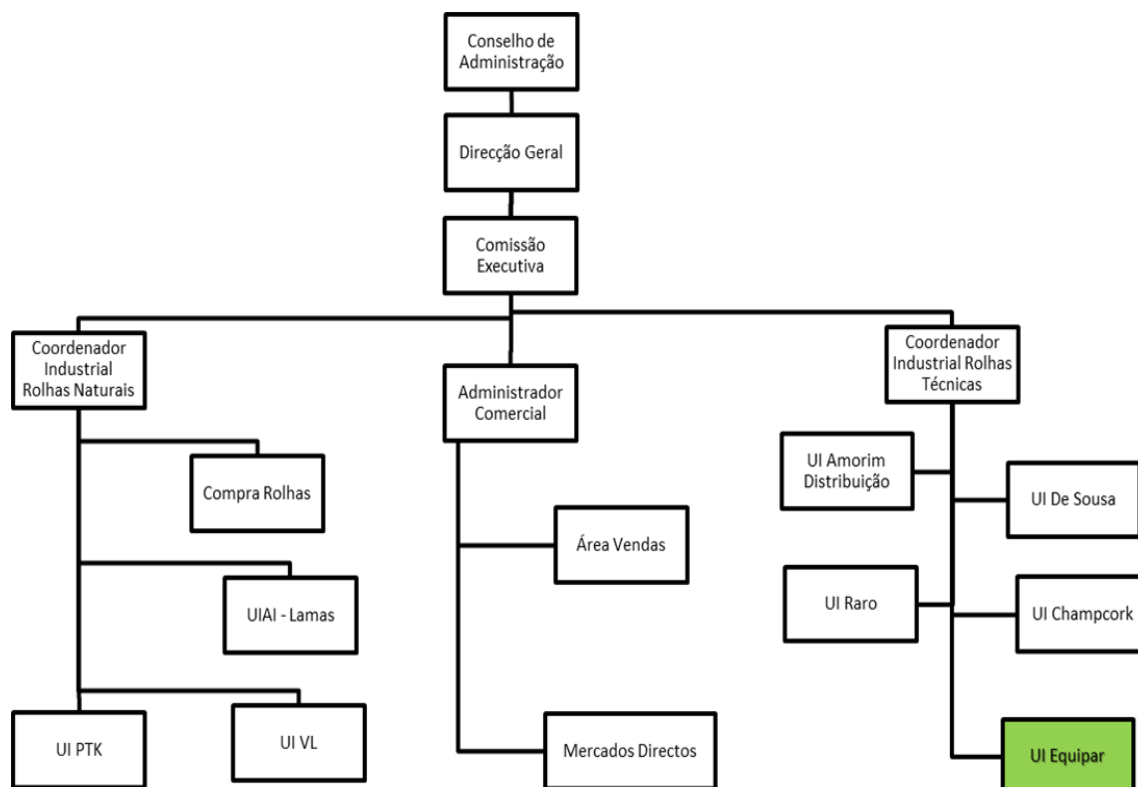
business-transformation/articles/maximizing-profits-through-the-integration-of-lean/>. Acesso em 26 de Fevereiro de 2015.

- Stamm, M., Neitzert, T., Singh, D. (2009). *TQM, TPM, TOC, Lean and Six Sigma – Evolution of manufacturing methodologies under the paradigm shift from Taylorism/Fordism to Toyotism?*, School of Engineering, AUT University, Vol. 1, pp. 1-10.
- Steth, P., Deshpande, V., Kardani, H. (2014). *Value Stream Mapping: A case study of Automotive Industry*. International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol. 3(1), pp. 310-314. doi: 10.15623/ijret.2014.0301055
- Tabanlı, R., Ertay, T. (2012). *Value Stream Mapping and Benefit-cost analysis application for value visibility of a pilot project on RFID investment integrated to a manual production control system – a case study*. Springer, Vol.66 (5-8), pp. 987-1002. doi: 10.1007/s00170-012-4383-x
- Tenera, A. (2006). *Contribuição para a melhoria da gestão da incerteza na duração dos projectos através da teoria das restrições*. Tese de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.
- Tenera, A., Abreu, A. (2008). *A TOC perspective to improve the management of collaborative networks*, IFIP – The International Federation for Information Processing, Volume 283. doi: 10.1007/978-0-387-84837-2\_17
- Tenera, A., Pinto, L. (2014). *A Lean Six Sigma (LSS) project management improvement model*, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 119, pp. 912–920. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.03.102
- The Productivity Press development team (2002). *Kanban for the Shopfloor*, Productivity Press, New York. ISBN-13: 978-1563272691
- Watson, K., Blackstone, J., Gardiner, S. (2006). *The evolution of a management philosophy: The theory of constraints*, Journal of Operations Management, Vol. 25(2), pp. 387-402. doi: 10.1016/j.jom.2006.04.004
- Woeppel, M. (2009). *How to Double Your Bottom Line with TLS*. Disponível em <<http://pinnacle-strategies.com/wp-content/uploads/2012/10/TLS-Whitepaper-final.pdf>>. Acesso em 8 de Abril de 2015.
- Womack, J., Jones, D. (1996). *Beyond Toyota: How to Root Out Waste and Pursue Perfection*, Harvard Business Review, Vol. 74(5), pp.140-158. doi: 10.1225/96511
- Womack, J., Jones, D., Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*, Macmillan, New York. ISBN-13: 978-0743299794
- Zeferino, M. (2014). *Aplicação de metodologias Lean e de Ergonomia numa Indústria Corticeira*. Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. Obtido de <http://run.unl.pt/handle/10362/14673>

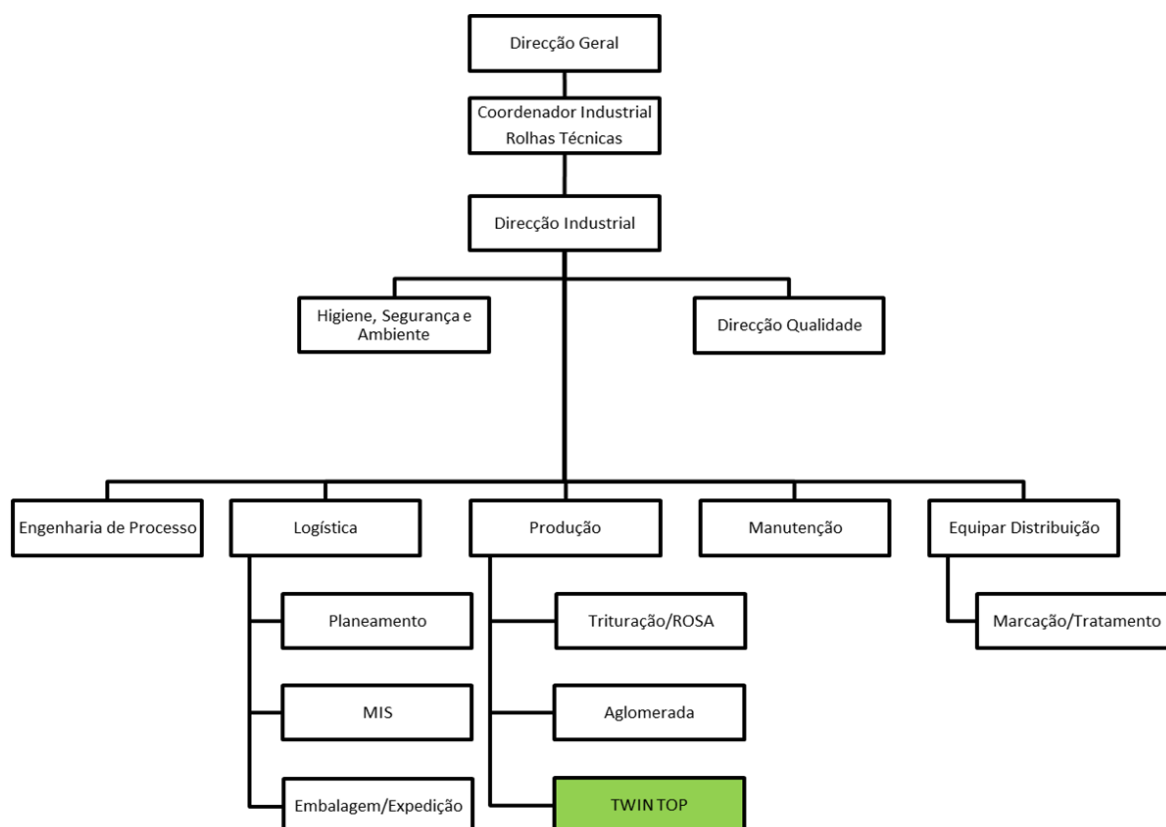


## Anexo A – Organigramas e *Layout* da Unidade Industrial Equipar

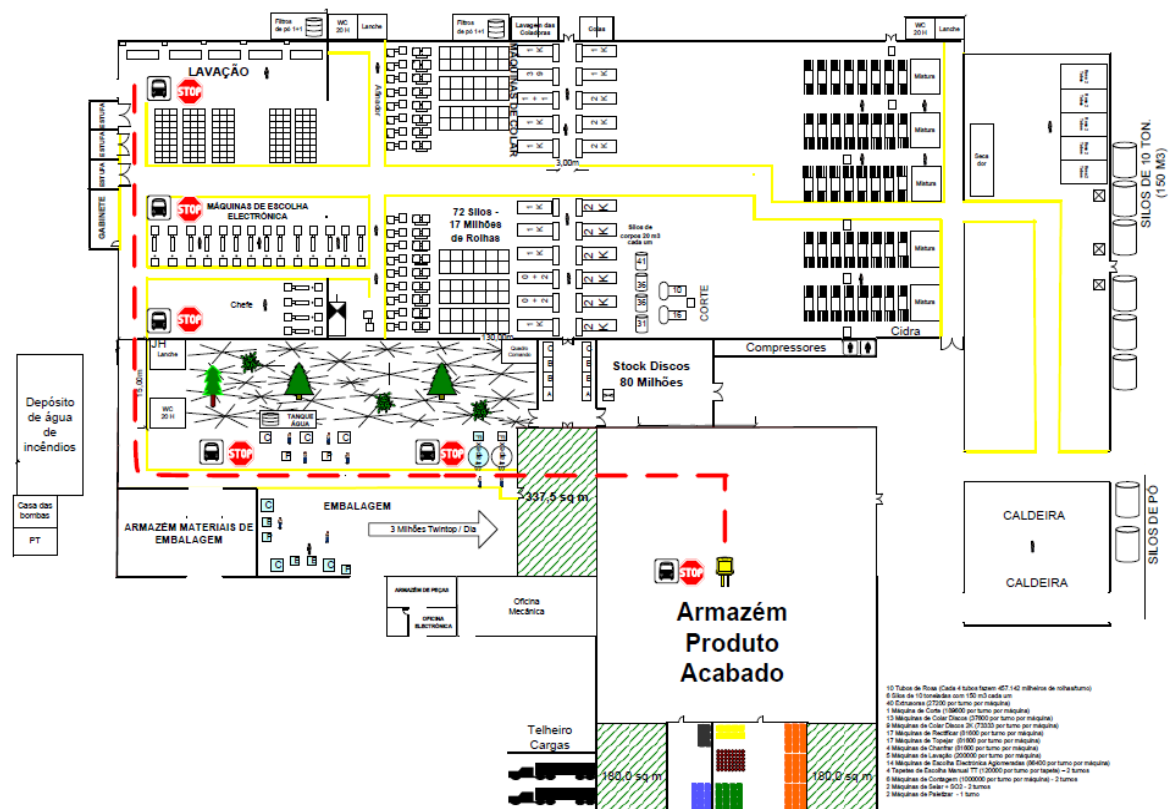
### Anexo A.I – Organograma do negócio de Rolhas Amorim



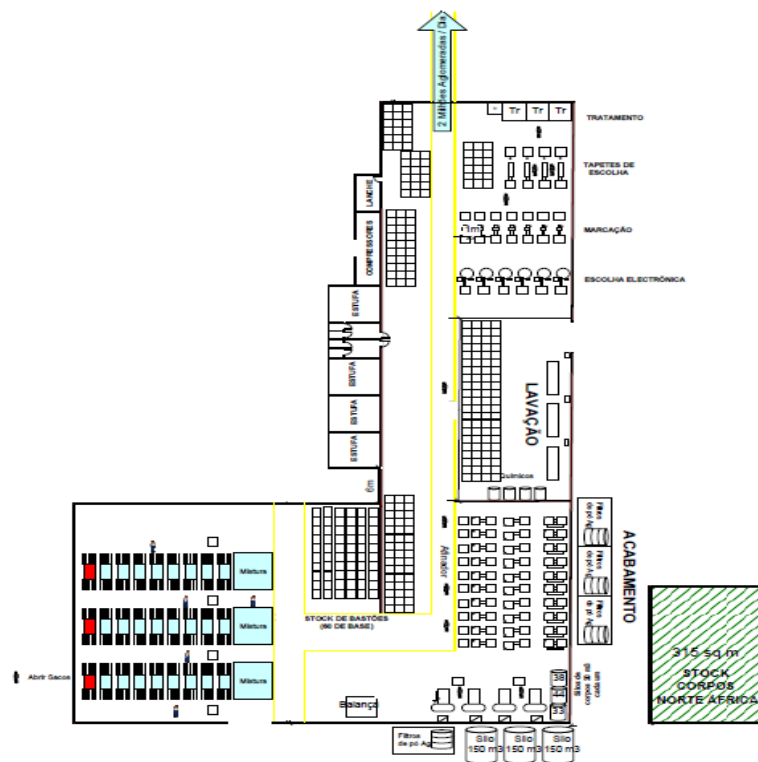
### Anexo A.II – Organograma do negócio de Rolhas Amorim



### **Anexo A.III – Layout das secções TT, ROSA, Trituração, EQD e Armazém**

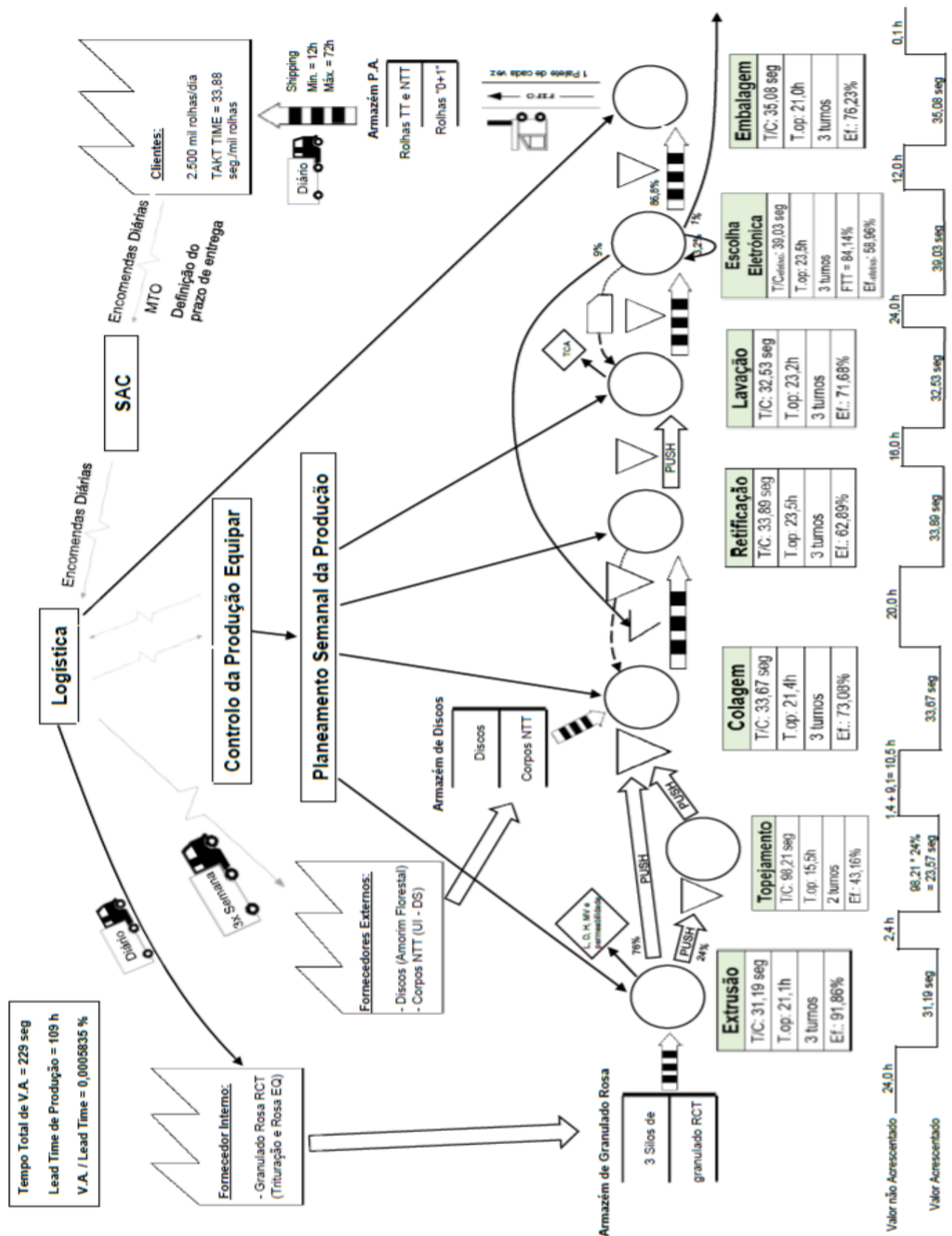


## **Anexo A.IV – Layout das secções AGLO e laboratório**

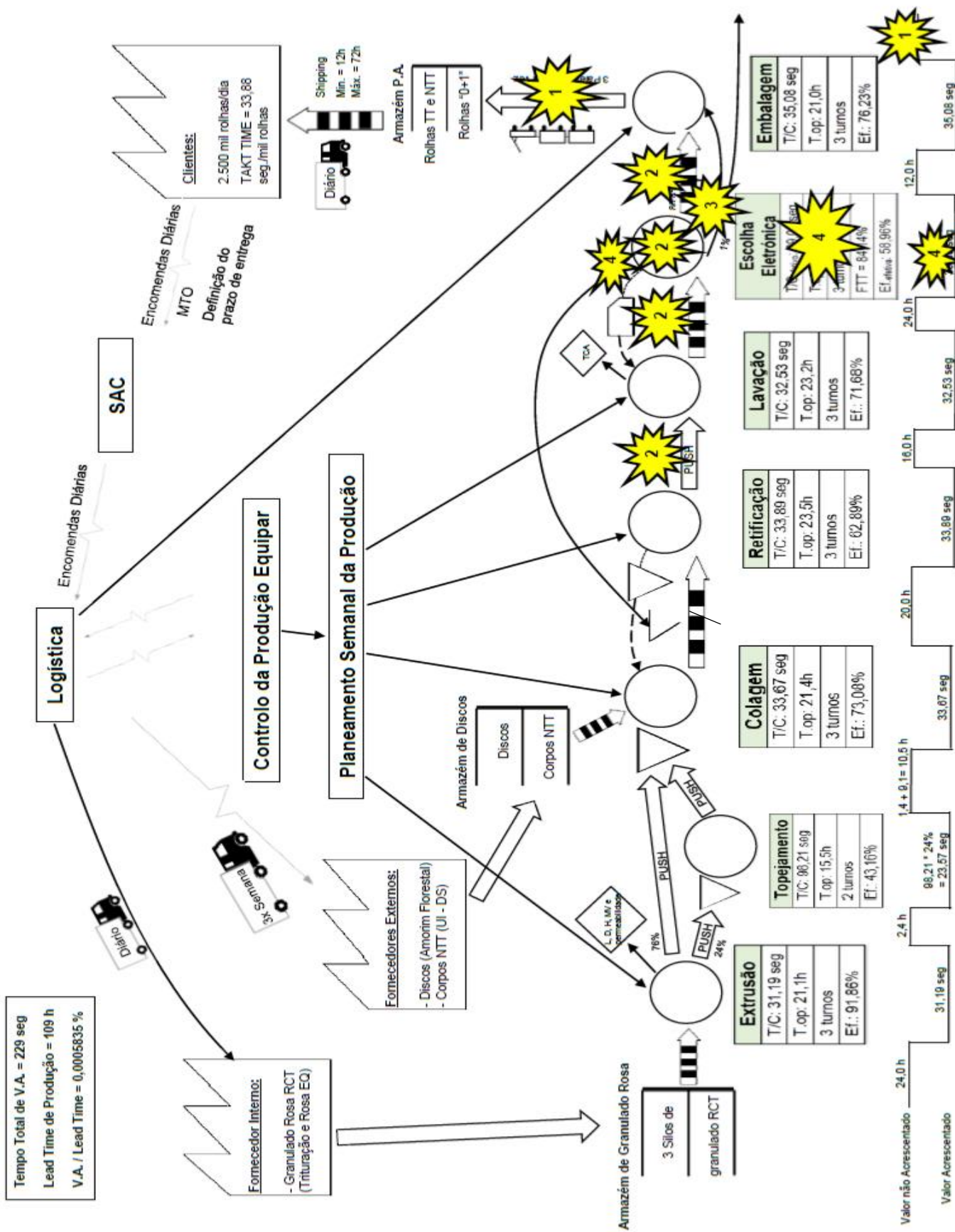


## Anexo B – VSM

### Anexo B.I – Current State do Sistema (Setembro e Outubro de 2014)

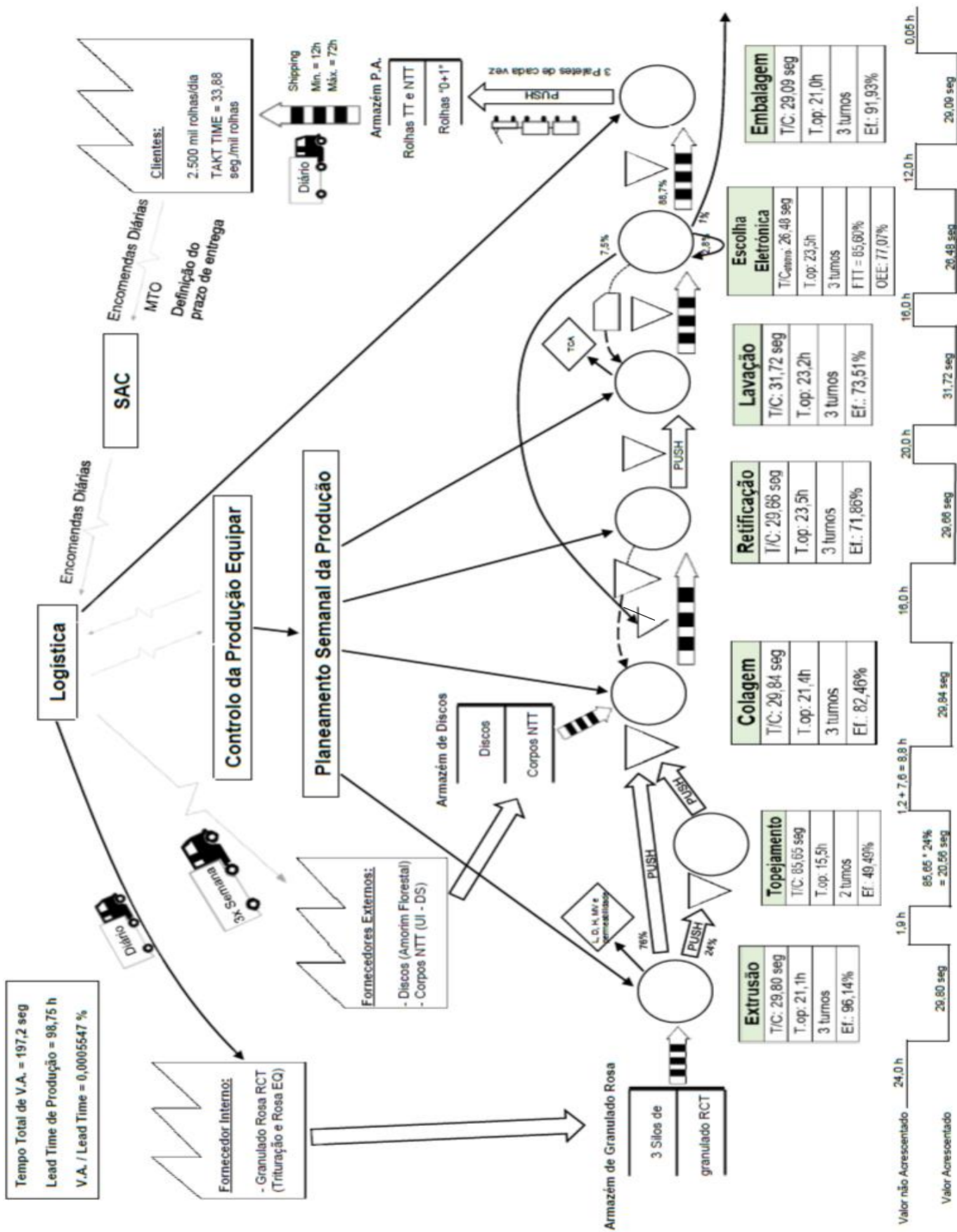


## **Anexo B.II – Future State do Sistema**





### **Anexo B.III – VSM após melhoria (Abril de 2015)**

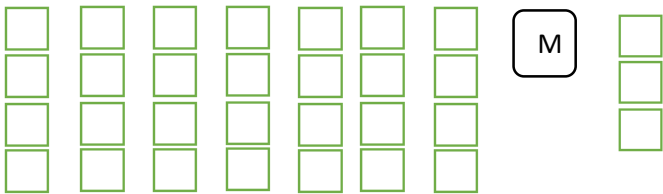




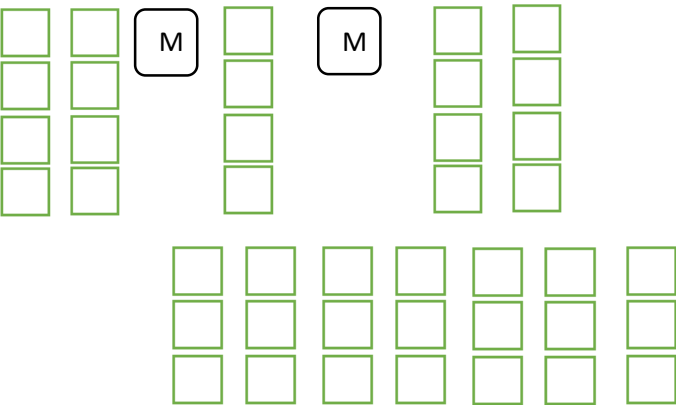
Anexo C – Simulação real no sistema

Anexo C.I – Template do Registo do Controlo de Stock WIP

1 WIP antes das máquinas de Topejamento (cestos)

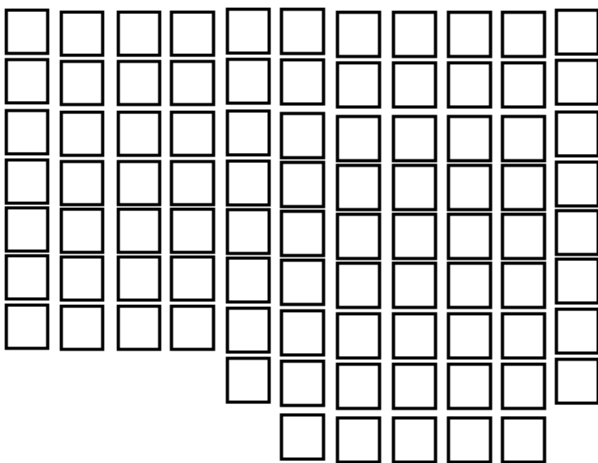


2 WIP antes da Silos Colagem (cestos)

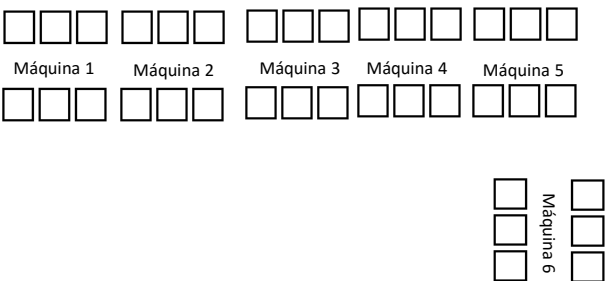


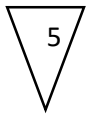
3 WIP antes da Retificação (Registo fotográfico do nível de produto visível nas janelas de cada Silo da Retificação)

4 WIP antes da Lavação (Paloxes):



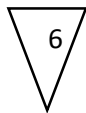
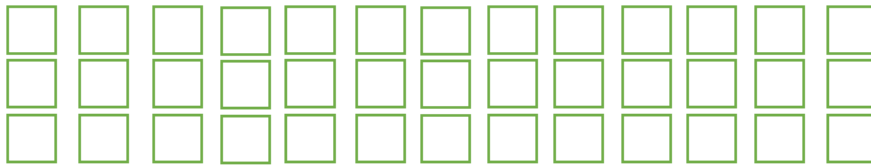
WIP Paloxes na antes Lavação  
Paloxes na plataforma das máquinas):





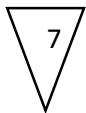
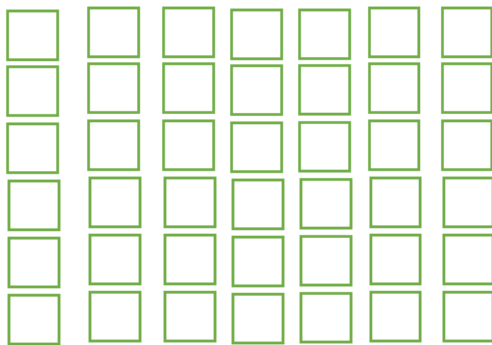
WIP antes da escolha (cestos):  
lado

Exceccionalmente no  
esquerdo dos Silos Retificação:

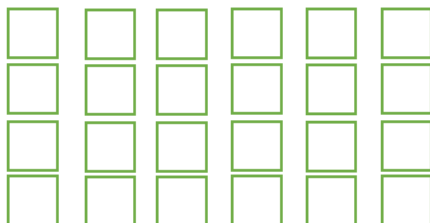


WIP antes da Embalagem (cestos):

Exceccionalmente  
ao lado da escolha:



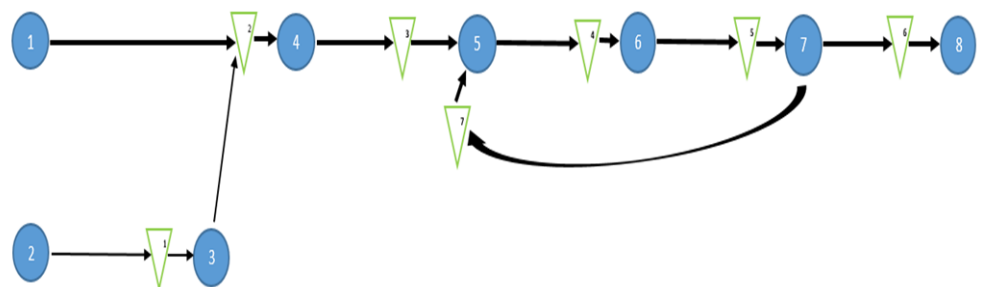
WIP de reprocessamento da escolha antes da retificação (Cestos):



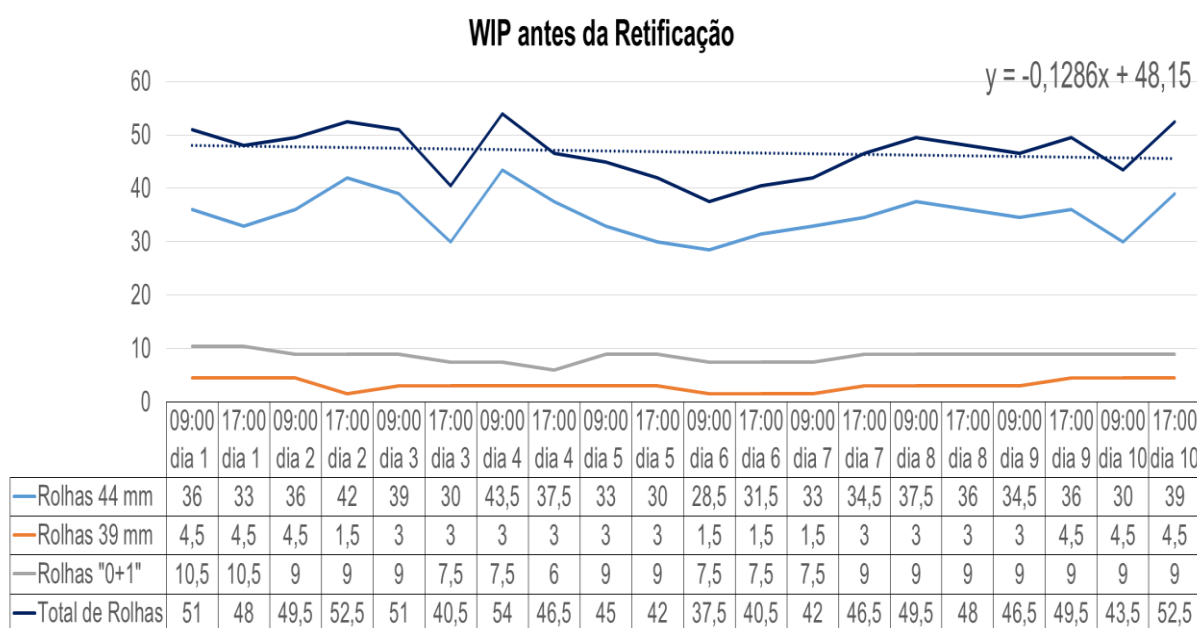
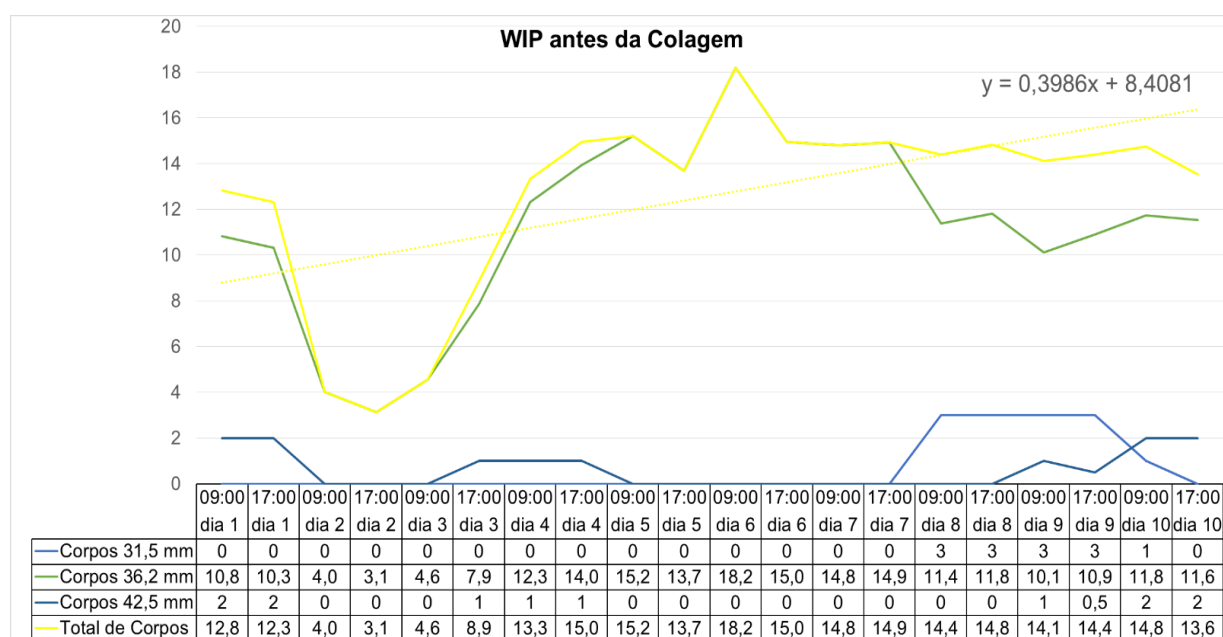
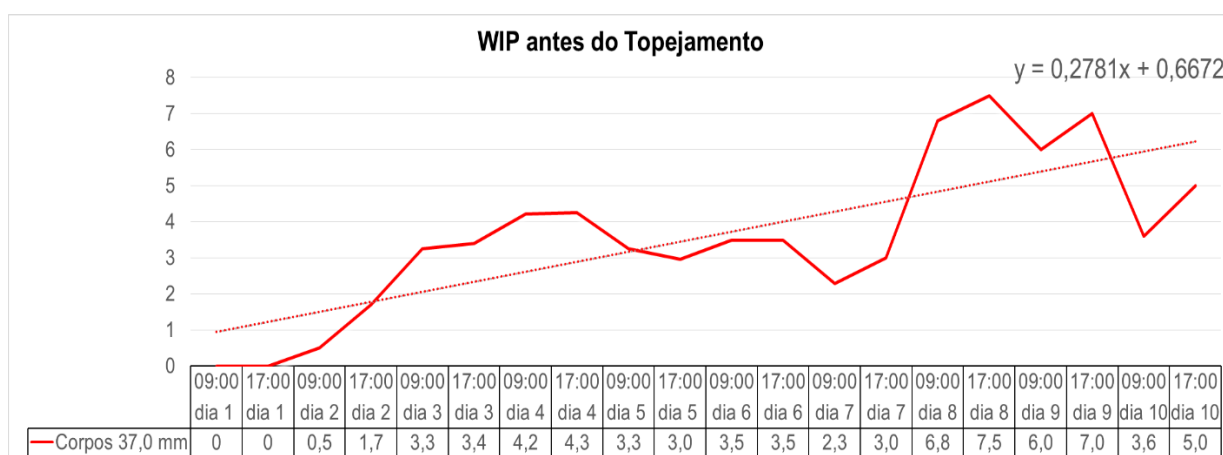
M

Data: \_\_\_\_\_

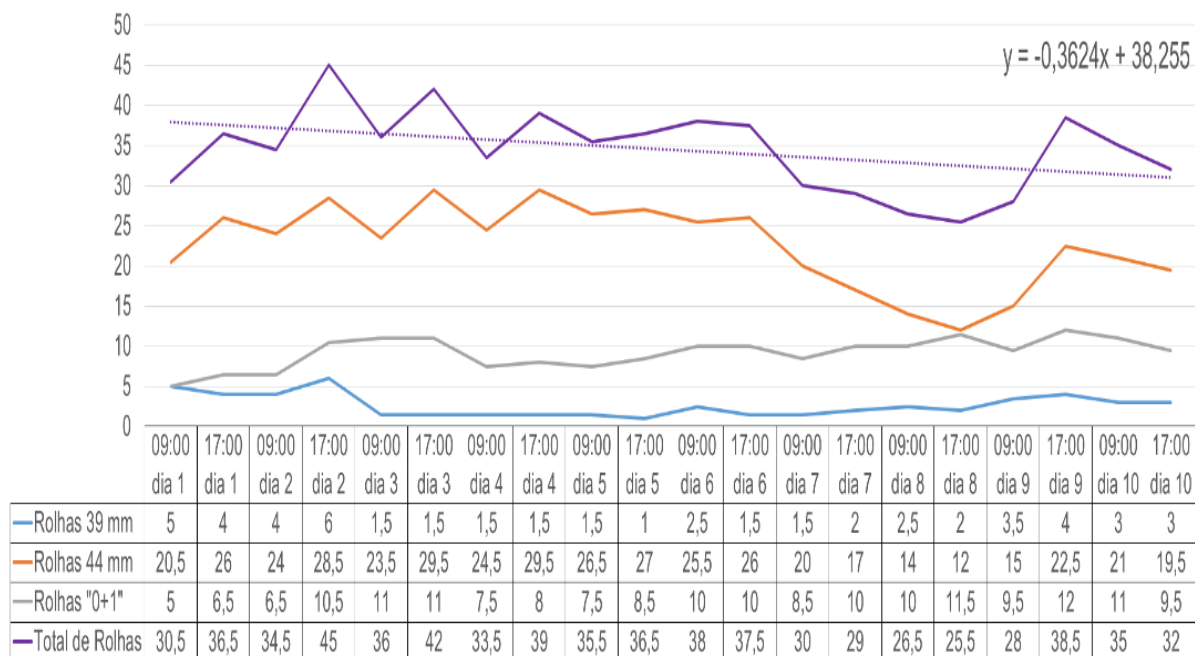
Hora: \_\_\_\_\_



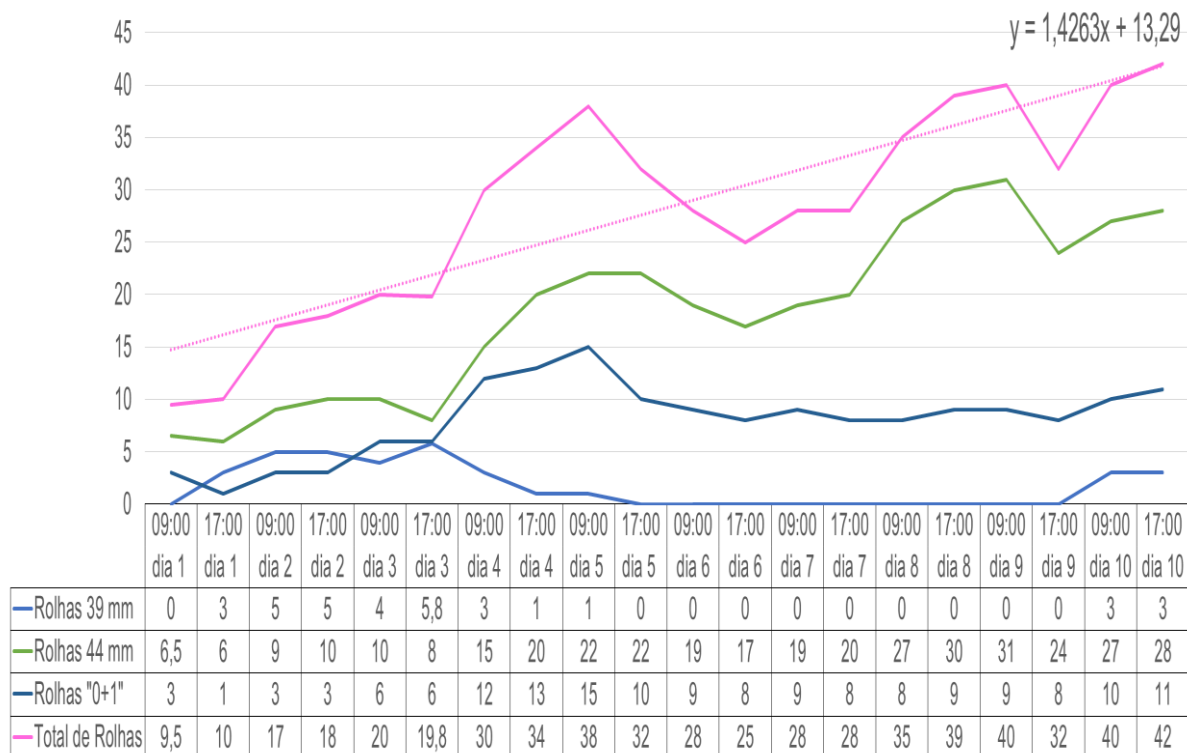
## Anexo C.II – Resultados do Inventário WIP antes de cada posto (em cestos)



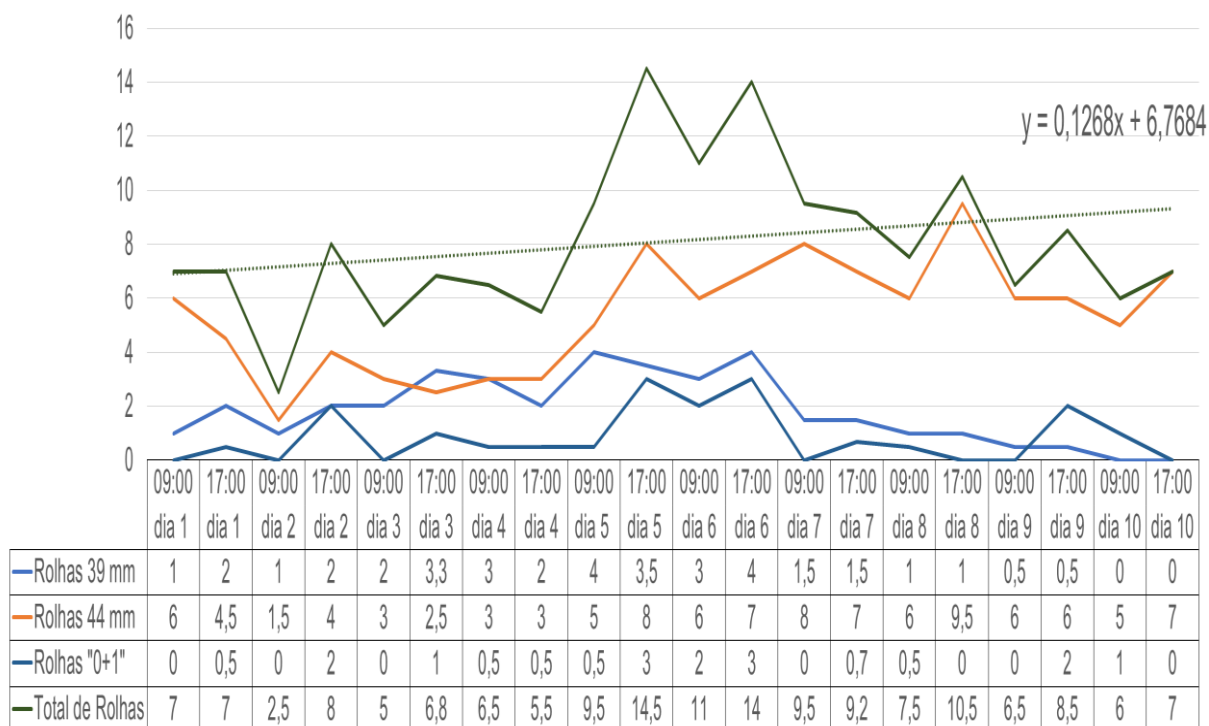
### WIP antes da Lavagem



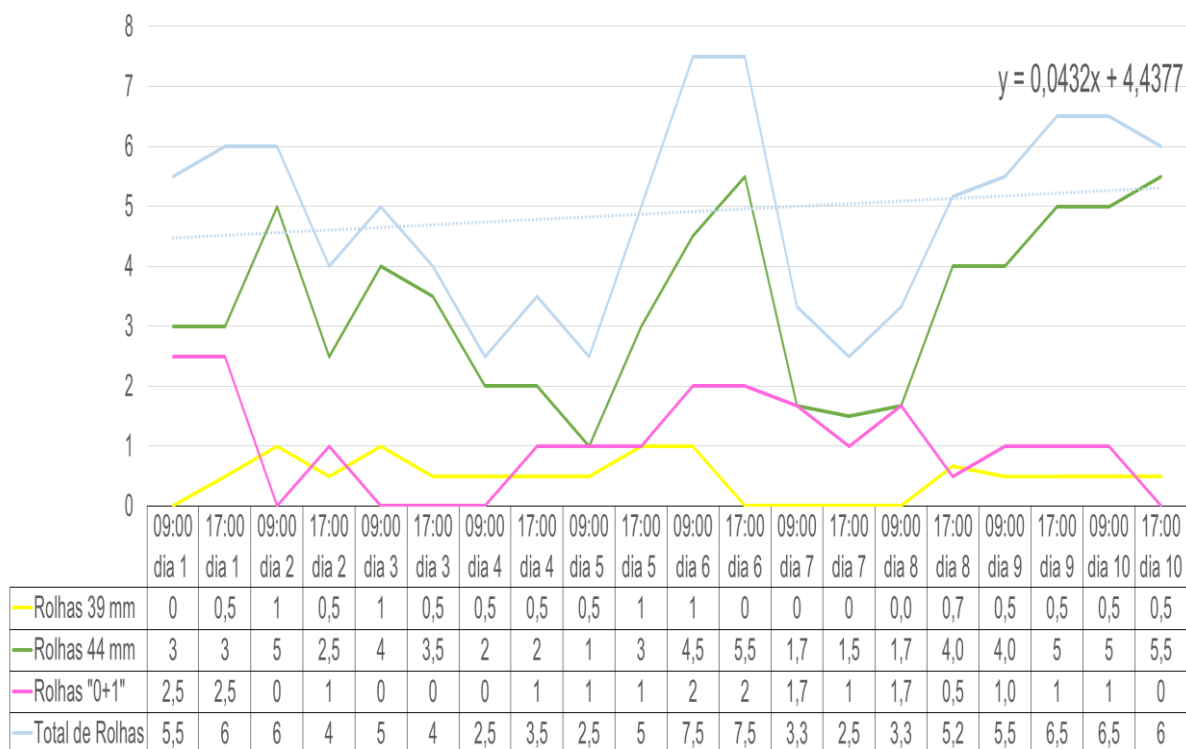
### WIP antes da Escolha



### WIP antes da embalagem



### WIP para Reprocessar







## Anexo D – Atuar com *Lean*

### Anexo D.I – Template do indicador do Registo de Paragens

ESCOLHA

Total de horas paradas

SEMANA: \_\_\_\_\_

MOTIVO DAS PARAGENS	MÁQUINAS AFETADAS	TOTAL DE HORAS
FALTA DE ABASTECIMENTO OU DE ROLHAS		
AVARIA		

### Anexo D.II – Template do indicador dos Defeitos e Repassagens

ESCOLHA

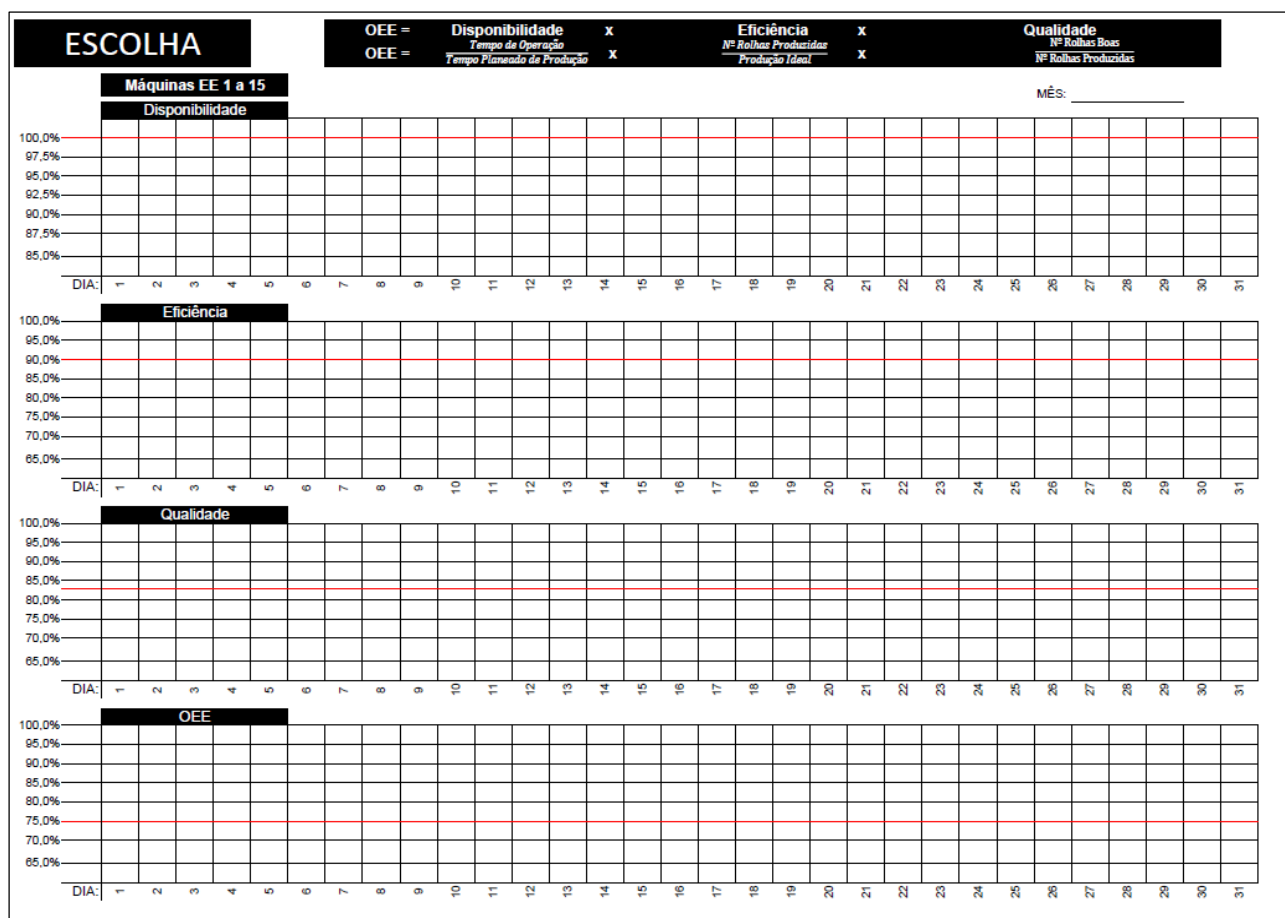
MÊS: \_\_\_\_\_

DEFEITOS (23,5 Ø)

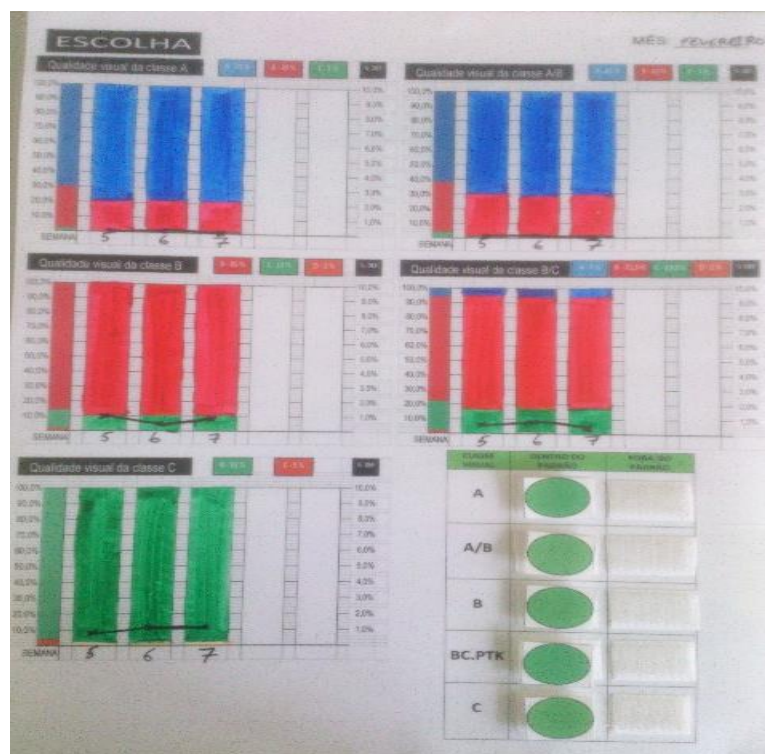
REPROCESSAMENTOS (23,4 Ø)

REPASSAGENS (23,5 Ø e 24 Ø)

## Anexo D.III – Template do indicador do OEE



## Anexo D.IV – Indicador da Classe Visual (com registo obtido em Fevereiro)



## Anexo D.V – Ocupação dos operadores logísticos

Tempo total disponível de ambos os operadores = 7h15 = 7,25 \* 3600 = 26.100 seg

### Lista de operações do operador TT:

Tarefa	Descrição da tarefa	Tempo (seg.)	Tempo (min)	Nº ciclos	Tempo total	Tempo liquido (seg.)
a	Carregar máquinas EE, consoante a disponibilidade de rolhas no <i>buffer</i>	121,0	2,0	23	2.783	23.317
b	Descarregar máquinas EE	110,0	1,8	23	2.530	20.787
c	Descarregar Defeitos ou Aparas da escolha na Retificação	220,0	3,7	12	2.640	18.147
d	Carregar máquinas Embalagem, consoante a disponibilidade de rolhas no <i>buffer</i>	121,0	2,0	12	1.452	16.695
e	Transportar sobras da embalagem para o Armazém EQD e procurar se há sobras que possam ser utilizadas	143	2,4	8	1.144	15.551
f	Embalar paletes (Tempo de máquina = 100 seg.)	60,5	1,0	9	544,5	15.006,5
g	Transportar paletes para o armazém de expedição e arrumar nas estantes	286,0	4,8	9	2.574	12.432,5
h	Abastecer moegas de defeitos na Retificação	110,0	1,8	2	220	12.212,5
i	Trocar rolo de plástico da máquina de embalar paletes	143,0	2,4	1	143	12.069,5
j	Arrumar total de sobras no armazém EQD no final do turno	462,0	7,7	1	462,0	<b>11.607,5</b>

**± 3,2 h**

### Lista de operações do operador EQD:

Tarefa	Descrição da tarefa	Tempo (seg.)	Tempo (min)	Nº ciclos	Tempo total	Tempo liquido (seg.)
a	Abastecer máquinas de marcar, consoante disponibilidade no <i>buffer</i> da EQD	180,0	3,0	18	3.240	22.860
b	Garantir o plástico, caixas e paletes de acordo com o plano de embalagem	195,0	3,3	5	975	21.885
c	Retirar da linha de embalagem as paletes já terminadas	85,0	1,4	18	1.530	20.355
d	Filmar e colar etiqueta da paleta	91,0	1,5	36	3.276	17.079
e	Arrumar paletes EQD no Armazém de Produto Acabado	167,0	2,8	36	6.012	11.067
f	Embalar na máquina automática	2.700,0	45,0	1	2.700	8.367
g	Abastecer tratamento com produtos químicos	360,0	6,0	0,4	144	8.223
h	Levar paletes partidas para viveiros	360,0	6,0	0,4	144	8.079
i	Levar desperdício de papel/cartão para contentor na zona de desperdícios	720,0	12,0	0,4	288	7.791
j	Abastecer paletes de rolhas compradas + despejar paloxes	900,0	15,0	2	1.800	<b>5.991</b>

**± 1,7 h**

**Anexo D.VI – Resultados da amostragem da Classe Fraca**



## Anexo D.VII – Norma SW Comboio Logístico

CORR

Norma - COMBÓIO LOGÍSTICO TT

ANADIM

Ciclo de 1000hrs

Unidade Industrial

EQUIPAR

Setor/ Máquina

TT.ESC/ ARMZ PA

Rota Normalizada TT.ESC/ ARMZ PA TTESC (1º Turno)

Nº	Operações Internas	Tempo
1	Operador logístico TT.ESC abastecer forragem TT com pallets de embalagem na Paragem 1 (x3)	00:00:45
2	Operador pressiona o botão no quadro para acionar semáforo, quando o comboio estiver totalmente abastecido	00:00:10
3	Operador EGD após ser alertado pelo semáforo e realizar a atividade da Norma - Comboio Logístico, desengata o tractor da forragem AGLO na Paragem 2 e desloca-se até à Paragem 1 só com tractor	
4	Operador TT engata tractor na forragem TT	00:00:20
5	Operador TT desloca-se com tractor até à Paragem 3	00:02:00
6	Caso Operador do Armazém esteja disponível, esperar descarga de pallets da forragem TT e seguir para passo 9 da norma	00:01:10
7	Caso Operador do Armazém não esteja disponível, deixar e desengatar forragem TT do tractor na Paragem 3 e Operador TT segue passo 10 da norma	
8	Operador EGD transporta posteriormente forragem TT após esta ser desengatada por Operador do Armazém	
9	Operador TT desloca-se à Paragem 1 com forragem TT vazia e desengata do tractor	00:02:25
10	Operador TT desloca-se à Paragem 2 e engata tractor na forragem AGLO	00:01:10
11	Operador TT volta ao posto de trabalho e pá	00:01:15
TOTAL		00:09:15

Rota Normalizada TT.ESC/ ARMZ PA TTESC (2º Turno)

Nº	Operações Internas	Tempo
1	Operador logístico TT.ESC abastecer forragem TT com pallets de embalagem na Paragem 1 (x3)	00:00:45
2	Operador pressiona o botão no quadro para acionar semáforo, quando o comboio estiver totalmente abastecido	00:00:10
3	Operador EGD após ser alertado pelo semáforo e realizar a atividade da Norma - Comboio Logístico, desengata o tractor da forragem AGLO na Paragem 2 e desloca-se até à Paragem 1 só com tractor	
12	Operador EGD engata tractor na forragem TT	00:00:20
13	Operador EGD desloca-se com tractor até à Paragem 3	00:02:00
14	Operador EGD armazena pallets nos estantes do Armazém	00:01:45
15	Operador EGD desloca-se à Paragem 1 com forragem TT vazia e desengata do tractor	00:02:25
16	Operador EGD desloca-se à Paragem 2 e engata tractor na forragem AGLO	00:01:10
TOTAL		00:08:35

## Anexo D.VIII – Norma SW Classificação da Classe Abaixo



NORMA - CLASSIFICAÇÃO DE ROLHAS E



Unidade Industrial

EQUIPAR

Setor/ Máquina




ESCOLHA TT

IT.61.010-43-2/REV.

Nº	Descrição da operação	1	2	3
1	Tirar amostra de 50 rolhas, 2/3 vezes por cesto, da saída "CLASSE" em cada máquina EE.			
2	Colocar rolhas em um tabuleiro com a face pior voltada para cima.			
3	Classificar visualmente as rolhas de acordo com o padrão da sua classe.			
4	Decidir de acordo com a TABELA 1 se está aprovado por classe visual. Exemplo: Ao amostrar a classe "A" e classificar menos de 35 rolhas como "A", então não está aprovado.			
5	Em caso de amostra não estar aprovada, então realizar uma segunda amostra com mais 100 rolhas e decidir de acordo TABELA 2 para a 2ª amostra.			
6	O cesto é rejeitado se a segunda amostra não for aprovada ou caso o número de defeitos for superior ao máximo da TABELA 1 ou 2 para a Classe ou caso haja pelo menos 1 defeito crítico.			
7	Em caso de rejeição do cesto, chamar o operador responsável pelo empilhador de modo a colocar o cesto de novo na moega da máquina.			
8	Tirar uma amostra de 50 rolhas da saída "CLASSE FRACA".			
9	Decidir de acordo com a "TABELA 3" se está aprovado para seguir para a Classe abaixo. Exemplo: Ao amostrar "C.a. B" e classificar mais de 10 rolhas como "D", então não está aprovado.			
10	Caso esteja aprovado, então colocar Alcofa com classe abaixo no cesto da classe abaixo para embalar. Em caso contrário, então colocar Alcofa de classe abaixo numa máquina que escolha a classe abaixo ou num cesto com a classe abaixo.			
11	Caso seja necessário: Parar a máquina e proceder à sua afinação de acordo com a norma - Afinação Máquinas 530 TC.			
12	Após afinar, colocar máquina em funcionamento e fazer uma nova amostra para as duas saídas.			
13	Colocar a máquina em funcionamento, quando as amostras das duas saídas estiverem aprovadas de acordo com as "TABELAS 1, 2 e 3".			
14	Recolher rolhas das outras saídas da máquina e ver se existem rolhas que não devam estar nessas saídas.			
15	No caso de encontrar rolhas que não se devam encontrar nessas saídas, então voltar a afinar a máquina de acordo com a norma - Afinação Máquinas 530 TC.			
16	Zerar motivos de rejeição (tecla 0) e contadores parciais (menu corpo, parâmetros de seleção (tecla 4), inserir password: "1122", e acertar os valores conforme necessário).			
17	Carregar na teia verde para retomar produção.			



## Anexo D.IX – Fichas de melhoria criadas para área da Restrição

2014_TT.ESC_M0002	<b>Ação:</b> Gestão Visual dos Defeitos <b>Data:</b> 08/2014 <b>Equipa:</b> Operadores da EE <b>Responsável da Equipa:</b> Flávio Ribeiro	
<b>1. PROBLEMA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de gestão visual para diferenciar as alcofas dos “Defeitos” e “Apara”.</li> <li>Misturas pontuais de apara e defeitos.</li> </ul>	<b>4. ANTES</b> 	
<b>2. CAUSA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Alcofas de armazenamento de material não apresentam qualquer distinção.</li> </ul>	<b>5. DEPOIS</b> 	
<b>3. SOLUÇÃO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Substituição das alcofas da “Apara da EE” para alcofas vermelhas evitando a existência de erros de destino do PNC por parte do operador.</li> </ul>		
GR.DCQ,038.3		

2014_TT.ESC_M0006	<b>Ação:</b> Gestão das amostras Lavação/Escolha <b>Data:</b> 20-03-2014 <b>Equipa:</b> Isilda Gagueja <b>Responsável da Equipa:</b> Flávio Ribeiro	
<b>1. PROBLEMA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dificuldade na organização das amostras retiradas na Lavação para os diversos testes laboratoriais.</li> <li>Falta de organização das amostras de Classe Final (saco de plástico)</li> </ul>	<b>4. ANTES</b> 	
<b>2. CAUSA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Grande variedade e quantidade de amostras retiradas. (GC, Fervuras, Peróxidos, Classe Visual)</li> </ul>	<b>5. DEPOIS</b> 	
<b>3. SOLUÇÃO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Divisão de caixa para amostras da lavação. (GC, Fervuras/Peróxidos)</li> <li>Criação de estante com caixas identificadas para amostra final da Classe Visual.</li> </ul>		
GR.DCQ,038.3		

## Anexo E – Cartas de Controle

**Anexo E.I – Resultados da amostragem (n=50 rolhas) de produto não-conforme**

Classe	Máquina	Número de defeitos encontrados nas amostras								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	2	0	1	0	0	1	0	2	0	1
	3	1	0	0	0	1	1	1	1	0
	4	1	1	0	1	1	0	2	1	0
	5	1	0	1	1	0	1	1	0	0
	6	0	0	2	1	0	2	0	0	0
	7	1	1	0	1	1	0	0	0	2
	8	1	1	1	0	0	1	0	0	0
	9	0	0	1	1	0	1	1	1	0
	10	0	0	1	0	0	1	0	2	0
	11	0	1	0	1	0	0	0	1	1
AB	1	1	0	1	0	0	0	2	1	0
	2	0	0	1	1	0	1	0	0	1
	3	0	1	1	0	0	1	1	0	0
	4	0	1	1	1	0	0	0	1	0
	5	0	1	0	1	1	1	2	1	0
	6	0	1	0	1	0	1	1	0	0
	7	1	0	1	0	0	2	0	1	0
	8	0	1	1	0	0	0	1	0	0
	9	0	0	1	0	1	0	1	1	0
	10	1	0	0	1	0	0	0	1	1
	11	0	1	1	0	1	1	0	1	1
	12	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	13	0	0	0	1	0	1	0	0	1
	14	0	1	1	1	1	1	0	0	1
	15	1	1	0	0	2	1	0	0	1
B	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1
	2	0	2	0	1	2	0	1	1	0
	3	0	1	1	0	0	0	0	0	1
	4	0	0	1	1	1	2	0	1	1
	5	2	0	1	0	0	1	2	0	1
	6	0	1	0	0	2	1	2	1	1
	7	0	1	1	1	1	0	1	1	1
	8	0	1	1	2	0	2	0	0	1
	9	0	2	0	1	2	1	1	0	1
	10	1	1	1	1	0	1	1	0	1
	11	0	1	1	2	1	0	2	0	1
	12	1	0	0	1	1	1	1	2	1
	13	1	0	1	0	0	1	1	1	0
	14	1	0	1	1	0	0	0	1	1
	15	0	1	0	2	0	1	1	0	0
BC	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0
	2	0	1	0	0	0	0	0	1	1
	3	1	2	0	0	0	1	1	0	1
	4	0	1	1	0	0	0	1	1	0

**Anexo E.I – Resultados da amostragem (n=50 rolhas) de produto não-conforme (continuação)**

Classe	Máquina	Número de defeitos encontrados nas amostras								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
BC	5	0	0	1	1	0	1	0	0	2
	6	1	1	1	0	1	1	1	1	0
	7	0	1	1	2	0	2	1	0	1
	8	0	1	0	1	1	0	1	0	0
	9	0	1	0	1	1	0	1	1	0
	10	1	0	1	0	1	0	0	1	2
	11	0	1	1	0	1	0	0	1	0
	12	1	2	0	1	0	0	0	1	0
	13	1	0	1	1	2	0	0	1	1
	14	1	1	0	1	1	0	0	0	1
	15	0	0	1	1	1	1	0	0	1
C	1	1	0	1	2	0	1	2	0	1
	2	1	0	1	1	2	0	0	1	0
	3	1	0	1	1	1	1	0	1	1
	4	0	1	1	1	0	0	1	1	1
	5	1	0	2	1	0	0	1	2	1
	6	0	2	1	1	0	1	1	1	2
	7	0	1	2	1	0	1	2	1	0
	8	1	1	2	0	1	1	1	0	2
	9	1	0	1	0	2	1	2	0	1
	10	2	1	0	1	1	0	1	0	2
	11	0	1	2	0	1	1	0	2	1
	12	0	1	0	2	1	1	0	2	1
	13	0	1	1	0	0	1	0	2	1
	14	0	1	0	0	0	2	0	1	0
	15	1	1	0	1	1	0	0	1	0

**Anexo E.II – Template das Cartas de Controlo EE**

**MÁQUINA 1:**
MÊS \_\_\_\_\_

**Classe A:**

Número de Rolhas Não-Conforme

LSC = 2,06  
LC = 0,33  
LIC = 0

Turno: \_\_\_\_\_  
Dia: \_\_\_\_\_